

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DE UNA BANDA TRANSPORTADORA
MEDIANTE GUIDE DE MATLAB**

AUTOR:

D. MARIO SALINERO GERVASO

TUTORA DEL PROYECTO:

DRA. DÑA. M^a JESÚS LÓPEZ BOADA

Octubre, 2013

AGRADECIMIENTOS

Quisiera comenzar agradeciendo la realización de este proyecto a mi tutora, M^a Jesús López Boada, quien me dio la oportunidad de realizar este Proyecto Fin de Carrera. Por su apoyo, consejos y paciencia demostrado a lo largo de mis visitas, dándome la esperanza para seguir aprendiendo en un campo, al principio, desconocido para mí.

También quiero agradecer el apoyo que he recibido por parte de los profesores y compañeros a lo largo de este periodo de mi vida porque siempre han estado ahí para escucharme y ayudarme en lo que pudieran.

Por último y no menos importante, me gustaría agradecer el apoyo recibido por parte de mi familia y seres queridos, es especial a mis padres por darme la oportunidad de poder haber estudiado esta maravillosa carrera, además de la ayuda y sacrificio mostrados en el día a día. Dándome la fuerza para superar momentos difíciles, desafíos y retos encontrados en este camino.

Simplemente Gracias.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1	1
INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Objeto del proyecto	3
1.3 Organización del proyecto	3
CAPITULO 2	5
HISTORIA Y GENERALIDADES	5
2.1 Historia	6
2.1.2 Datos cronológicos	7
2.2 Generalidades	9
2.2.1 Materiales a transportar, tamaños y temperaturas	9
2.2.2 Capacidades a transportar y longitudes.....	10
2.2.3 Ventajas ambientales y de seguridad	10
2.2.4 Carga y descarga.....	11
CAPÍTULO 3.....	12
LA BANDA TRANSPORTADORA	12
3.1 Introducción.....	13
3.2 Partes de una cinta transportadora	13
3.2.1 Generalidades y funciones	13
3.3 La banda.....	14
3.3.1 Clasificación y tipos	14
3.3.2 Constitución de la banda.....	17
3.3.3. Dimensiones y pesos de las bandas	19
3.3.4 Uniones de las bandas.....	20
3.3.5 Longitudes de transición.....	21
3.4 Rodillos y soportes.....	21
3.4.1 Generalidades	21
3.4.2 Constitución del rodillos	22
3.4.3 Funciones de los rodillos	23
3.4.4 Disposición espacial de los rodillos	23

3.5 Tambores.....	26
3.5.1 Generalidades	26
3.5.2 Formas constructivas y dimensiones generales	26
3.5.3 Tipos de tambores y funciones que realizan	27
3.5.4 Recubrimiento de los tambores.....	28
3.5.5 Equilibrado	29
3.5.6 Mototambores	29
3.6 Tensores de la banda	30
3.6.1 Funciones de los tensores	30
3.6.2 Tipos de tensores	31
3.7 Bastidores.....	32
3.7.1 Clasificación de los bastidores.....	33
3. 8 Carga y descarga	33
3.8.1 La carga inicial sobre una cinta	34
3.8.2 La descarga de una cinta sobre otras cintas	34
3.8.3 Descarga final de una cinta sobre una pila cónica, sobre un parque de materiales longitudinal, o sobre una tolva.....	34
3.9 Equipos de limpieza.....	34
3.9.1 Generalidades e importancia.....	34
3.9.2 Fugitividad y ensuciamiento	34
3.9.3 La incidencia económica de la mala limpieza	35
3.9.4 Tipos de rascadores.....	35
3.10 Grupos motrices	37
3.10.1 Generalidades	37
3.10.2 Motores eléctricos.....	37
3.11 Acoplamientos.....	41
3.11.1 Acoplamientos de alta velocidad	41
3.11.2 Acoplamiento de baja velocidad.....	41
3.12 Reductores de velocidad.....	42
3.12.1 Generalidades.	42
3.13 Frenos y mecanismos antiretorno.	42
3.13.1 Generalidades.	42
CAPITULO 4.....	43
MATLAB Y GUIDE.....	43
4.1 Introducción a MatLab.....	44

4.2 Entorno de trabajo de MatLab	44
4.2.1 Menús de Matlab	45
4.2.2 Principales funciones y operaciones de MatLab	46
4.2.3 Programación con MatLab, bucles	49
4.3 Matlab-GUIDE	53
4.3.1 Introducción.....	53
4.3.2 Inicio de una <i>GUI</i>	53
4.3.3 Entorno de trabajo.....	55
4.3.4 Paleta de componentes de <i>GUIDE</i>	59
4.3.5 Programación y ordenes en <i>GUIDE</i>	65
 CAPITULO 5	 68
 CÁLCULO DE UNA BANDA TRANSPORTADORA	 68
5.1 Definición de los parámetros principales	69
5.1.1 Generalidades	69
5.1.2 Características principales	69
5.2 Definición del ancho de banda y velocidad.....	72
5.2.1 Introducción.....	72
5.2.2 Características geométricas de la banda	73
5.2.3 Capacidad a transportar	74
5.3 Cálculo de los parámetros de una banda transportadora.....	78
5.3.1 Selección del ancho-velocidad más apropiado	78
5.3.2 Disposición de los rodillos.....	78
5.3.3 Determinación de la capacidad de transporte de la banda	81
5.3.4 Potencias parcial de la banda	83
5.3.4 Resistencia mínima a tracción de la banda	87
5.3.5 Cálculo de la resistencias al movimiento de la banda.....	89
5.3.6 Fuerzas tangenciales en régimen permanente	100
5.3.6 Fuerzas tangenciales en estado no estacionario	101
5.3.7 Determinación de la potencia final necesaria	103
5.4 Transmisión de fuerzas del tambor motriz a la banda.....	104
5.4.1 Introducción.....	104
5.4.2 Sistemas de accionamiento	104
5.4.3 Distribución de potencias para dos tambores motrices	106
5.5 Tensiones de una banda	108
5.5.1 Generalidades	108
5.5.2 Transmisión de las fuerzas.....	108

5.5.3 Corrección de las tensiones.....	112
5.5.4 Secuencia de cálculo.....	117
5.5.5 Determinación de las tensiones para bandas con un tambor motriz.....	120
5.6 Selección de los elementos de la banda	124
5.6.1 Selección del motor	124
5.6.2 Selección de la banda.....	124
5.6.3 Selección de las características de los rodillos.....	126
5.6.4 Selección de las características de los tambores	131
CAPITULO 6.....	136
DESARROLLO DEL PROGRAMA <i>DITRAN</i>.....	136
6.1 Introducción.....	137
6.2 Características de funcionamiento	137
6.2.1 Acceso al programa	137
6.2.2 Menú de inicio	138
6.2.3 Materiales a transportar	141
6.2.4 Geometría de banda y rodillos	145
6.2.5 Ancho de banda y velocidad final.....	149
6.2.6 Fuerzas y potencias	152
6.2.7 Tensiones	159
6.2.8 Características del motor	163
6.2.9 Características de los rodillos	165
6.2.10 Características de los tambores	168
6.2.11 Características de la banda.....	170
6.2.12 Menú final.....	172
CAPÍTULO 7.....	173
CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS.....	173
7.1 Conclusión.....	174
7.1 Trabajos futuros.	175
CAPITULO 8.....	176
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	176
8.1 Referencias	177

ANEXOS 1	179
CATÁLOGOS DE BANDAS <i>DUNLOP</i>	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Cinta transportadora de mitad del S.XIX. Deutsches-Museum, Múnich [25].....	6
Figura 2.2: Máquina automotriz de Oliver Evans 1795 [20].	8
Figura 2.3: Draga con cinta transportadora de 60 m. Canal de Suez [26].	9
Figura 2.4: Cinta transportadora de acopio de hormigón. Industria CAES [19].	10
Figura 2.5: Cinta transportadora para extracción de fosfatos de Marruecos [16].	10
Figura 2.6: Reclaimer de la mina de carbón de Kestrel. Australia [16].	11
Figura 3.1: Componentes principales de una cinta transportadora [5].	14
Figura 3.2: Bandas con tejido sintético (EP) y bandas con cable de acero (ST) [13].	16
Figura 3.3: Bandas con tejido sintético (EP) y bandas con cable de acero (ST) reforzado [13].	16
Figura 3.4: Bandas con tejido solido (<i>Solid wovnen</i>) [13].	16
Figura 3.5: Bandas con perfil rugoso [27].	16
Figura 3.6: Bandas con perfil rugoso [27].	16
Figura 3.7: Partes de una banda [11].	17
Figura 3.8: Unión por grapas y unión vulcanizada [13] y [17].	21
Figura 3.9: Partes detalladas de un rodillo [19].	23
Figura 3.10: Disposiciones rígidas de los rodillos [18].	24
Figura 3.11: Disposición en guirnalda de los rodillos [18].	24
Figura 3.12: Estación autocentradora. Ramal superior [5].	26
Figura 3.13: Tambores de cola/reenvío [18].	28
Figura 3.14: Tambor motriz [18].	28
Figura 3.15: Tipos de tambores de una cinta transportadora [1].	28
Figura 3.16: Tipos de tambores de una cinta transportadora [5].	30
Figura 3.17: Bastidor formado por dos largueros [19].	33
Figura 3.18: Bastidores tubulares [19].	33
Figura 3.19: Rascador primario de cabeza [18].	36
Figura 3.20: Rascador secundario [18].	36
Figura 3.21: Sistema de limpieza automatizado [19].	36

Figura 3.22: Grupo motriz, reductor clásico [15].	37
Figura 3.23: Curvas par-velocidad e intensidad-velocidad [1].	40
Figura 4.1: Logotipo <i>MatLab</i> [24].	44
Figura 4.2: Ventana principal de <i>MatLab</i>	45
Figura 4.3: Ejemplos gráficos de bifurcaciones [24].	49
Figura 4.4: Ejemplos gráficos de bucles [24].	50
Figura 4.5: Acceso a <i>GUIDE</i> desde icono.	53
Figura 4.6: Menú para seleccionar el tipo de <i>GUI</i> inicial.	54
Figura 4.7: Entorno de trabajo de una <i>GUI</i>	55
Figura 4.8: Menú <i>Align Objects</i> de <i>GUI</i>	56
Figura 4.9: Menu <i>Edit</i> de <i>GUI</i>	56
Figura 4.10: Menu <i>Tab Order Editor</i> de una <i>GUI</i>	57
Figura 4.11: Menu <i>Toolbar Editor</i> de una <i>GUI</i>	57
Figura 4.12: Menu <i>M-File Editor</i> de una <i>GUI</i>	58
Figura 4.13: Menu <i>Property Inspector</i> de una <i>GUI</i>	58
Figura 4.14: Menu <i>Object Browser</i> de una <i>GUI</i>	59
Figura 4.15: Interfaz gráfica de una <i>GUI</i> al pulsar Run Guide.	59
Figura 4.16: Paleta de componentes de <i>GUIDE</i> , para la creación de una <i>GUI</i>	60
Figura 4.17: Push Button.	60
Figura 4.18: Slider.	60
Figura 4.19: Radio Buttons.	61
Figura 4.20: Check Box.	61
Figura 4.21: Edit Text.	61
Figura 4.22: Static Text.	62
Figura 4.23: Pop-up Menu.	62
Figura 4.24: List Box.	62
Figura 4.25: Toogle Button.	63
Figura 4.26: Table.	63

Figura 4.27: Axes.	63
Figura 4.28: Panel.....	64
Figura 4.29: Button Group.	64
Figura 4.30: Ejemplo cambiar nombre de un <i>Push Button</i>	65
Figura 4.31: Flujo de funcionamiento de un <i>GUI</i> [8].	66
Figura 5.1: Tamaño del material [2].	69
Figura 5.2: Ángulos de sobrecarga, y ángulo de reposo [5].	70
Figura 5.3: Banda con diferentes tramos [3].	74
Figura 5.4: Banda con una configuración básica [3].	74
Figura 5.5: Configuración de rodillos en artesa [2].	79
Figura 5.6: Configuración de rodillos en V [2].	80
Figura 5.7: Configuración de rodillo plano [2].	80
Figura 5.8: Distancia entre estaciones de rodillos [2].	93
Figura 5.9: Gráfico del los valores del coeficiente C [2].	96
Figura 5.10: Sistema con tambor motriz en cabeza [2].	104
Figura 5.11: Sistema con tambor motriz en cola [2].	105
Figura 5.12: Sistema con tambor motriz en cola [2].	105
Figura 5.13: Sistema con dos tambores en cabeza [2].	105
Figura 5.14: Principio de transmisión de fuerza desde un tambor motriz a un cable.	108
Figura 5.15: Distribución de fuerza y tensión en un tambor motriz [2].	109
Figura 5.16: Tensiones y ángulos de abrace máximo en el tambor motriz [2].	110
Figura 5.17: Distribución de tensiones para un dispositivo tensor fijo [2].	113
Figura 5.18: Diferente localización del dispositivo tensor por contrapeso [2].	114
Figura 5.19: Distribución de tensiones para tambor tensor por contrapeso [1].	115
Figura 5.20: Distribución de tensiones para tambor tensor por contrapeso [2].	115
Figura 5.21: Distribución de fuerzas a lo largo de una banda transportadora [2].	117
Figura 5.22: Tensiones para instalación con un tambor motriz en cabeza [2].	120
Figura 5.23: Tensiones para instalación con un tambor motriz en cola [2].	121

Figura 5.24: Tensiones para cinta descendente actuando como freno [2].	121
Figura 5.25: Tensiones para instalación con un tambor motriz en cola y otro en cabeza [2].	123
Figura 5.26: Tensiones para instalación con dos tambores motrices en cabeza [2].	124
Figura 5.27: Diámetro del rollo de la banda.	126
Figura 5.28: Tipos de tambores en una banda transportadora [3].	132
Figura 5.29: Longitudes de transición, con tambor sin elevar L_M y elevado L_{red} [2].	134
Figura 6.1: Ventana de inicio del software de diseño de bandas transportadoras <i>DITRAN</i>	138
Figura 6.2: Menú de inicio del programa <i>DITRAN</i>	139
Figura 6.3: Barra de herramientas.	139
Figura 6.4: Información del programa <i>DITRAN</i>	140
Figura 6.5: Mensaje de error por intentar acceder a un menú equivocado.	141
Figura 6.6: Mensaje de advertencia por intentar volver acceder al mismo menú.	141
Figura 6.7: Menú características de los materiales.	142
Figura 6.8: Ventana con los tamaños de los materiales.	143
Figura 6.9: Ventana de características de los materiales, catálogo Agustín López Roa	143
Figura 6.10: Menú características de los materiales, catálogo de <i>Pirelly</i>	144
Figura 6.11: Ventana de ayuda para completar las características de los materiales.	144
Figura 6.12: Mensaje de error referente al tamaño del material.	145
Figura 6.13: Mensaje de aviso referente al peso específico del material.	145
Figura 6.14: Mensaje de error referente al ángulo de inclinación máxima de la banda.	145
Figura 6.15: Mensaje de aviso referente al ángulo de sobrecarga.	145
Figura 6.16: Menú de geometría de la banda y configuración de rodillos.	146
Figura 6.17: Ventana de ayuda para determinar la geometría de la banda.	146
Figura 6.18: Menú de geometría de la banda y configuración de rodillos.	147
Figura 6.19: Error por introducir la inclinación mayor que la máxima permitida.	148
Figura 6.20: Error por introducir el desnivel mayor que el máximo permitido.	148
Figura 6.21: Error por introducir la longitud de los rodillos en metros.	148
Figura 6.22: Error por introducir la longitud de los rodillos en metros o no normalizada.	149

Figura 6.23: Error por introducir valores numéricos o texto.	149
Figura 6.24: Menú ancho de banda y velocidad final (I).	150
Figura 6.25: Ayuda para calcular los resultados de ancho de banda y velocidad.	150
Figura 6.26: Mensaje de aviso por haber superado la velocidad máxima.	151
Figura 6.27: Menú ancho de banda y velocidad final (II).	151
Figura 6.28: Menú inicio con cuadro resumen en margen derecho.	152
Figura 6.29: Menú fuerzas y potencias (I).	152
Figura 6.30: Ayuda de la ventana fuerza y potencia.	153
Figura 6.31: Ayuda eficiencia de equipos reductores de velocidad.	154
Figura 6.32: Ayuda diámetro de los rodillos.	154
Figura 6.33: Ayuda espesor de los recubrimientos.	154
Figura 6.34: Menú fuerzas y potencias completo (II).	157
Figura 6.35: Mensaje de error por introducir el espesor de los rascadores superior al permitido.	157
Figura 6.36: Mensaje de error por introducir una longitud de las guías superiores a la banda.	158
Figura 6.37: Mensaje de error por introducir rendimiento incorrecto.	158
Figura 6.38: Mensaje de error de los espesores de recubrimientos incorrectos.	158
Figura 6.39: Mensaje de error de diámetro de los rodillos.	159
Figura 6.40: Menú tensiones inicial (I).	159
Figura 6.41: Ventana de ayuda de los ángulos de abrace entre tambor y banda.	160
Figura 6.42: Menú tensiones completo (II).	162
Figura 6.43: Mensaje de error por introducir ángulo de abrace de forma incorrecta.	162
Figura 6.44: Mensaje de error por tensiones insuficientes.	163
Figura 6.45: Mensaje de error por incumplir la condición de Euler-Eytelwein.	163
Figura 6.46: Mensaje de error debido a que la banda no soporta el esfuerzo a tracción.	163
Figura 6.47: Menú motor (I).	164
Figura 6.48: Menú motor (II).	165
Figura 6.49: Menú rodillos (I).	167
Figura 6.50: Menú rodillos (II).	167

Figura 6.51: Menú tambores (I).....	168
Figura 6.52: Menú tambores (II).	169
Figura 6.53: Menú configuración de bandas (I).	170
Figura 6.54: Menú configuración de bandas (II).	172
Figura 6.55: Menú de inicio completo.....	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Coste de la banda [1].	14
Tabla 3.2: Tipos de tejidos.	18
Tabla 3.3: Calidad de los recubrimientos. Norma DIN 22102 [1].	19
Tabla 3.4: Anchos de banda normalizados.	20
Tabla 3.5: Diámetros de los rodillos [6].	23
Tabla 3.6: Diámetros de tambores DIN 22101.	26
Tabla 3.7: Longitud de los tambores.	26
Tabla 3.8: Tamaño de las carcasa / Potencia del motor. Norma HD 213.	38
Tabla 3.9: Potencia en función de la altura sobre el nivel del mar.	39
Tabla 5.1: Selección del ancho de banda según tamaño de material [2].	70
Tabla 5.2: Características de los materiales [1].	71
Tabla 5.3: Relación empíricas ancho de banda-velocidad / tamaño de material [2] y [11].	76
Tabla 5.4: Valores normalizados de velocidad, según la norma DIN 22101.	76
Tabla 5.5: Factores de reducción de capacidad por inclinación según norma DIN 22101	77
Tabla 5.6: Longitud de los rodillos [2].	81
Tabla 5.7: Factor de ancho de banda C_b [2].	84
Tabla 5.8: Factor de longitud de banda C_l [2].	84
Tabla 5.9: Factor de servicio, según condiciones de trabajo k_f [2].	84
Tabla 5.10: Potencias adicionales necesarias para otros dispositivos [2]	85
Tabla 5.11: Eficiencia de los diferentes mecanismos reductores [2].	86
Tabla 5.12: Potencia de motores, valores normalizados (Kw) [2].	86
Tabla 5.13: Coeficiente de fricción según superficie de tambor C_R [2].	87
Tabla 5.14: Factor de pérdida de resistencia a tracción según empalme/nº de telas C_v .	88
Tabla 5.15: Resistencias nominales de bandas textiles [2].	89
Tabla 5.16: Espesor de los recubrimientos superiores [14].	89

Tabla 5.17: Espesor de los recubrimientos inferiores [14].	89
Tabla 5.18: Coeficiente de fricción de las partes móviles [14].	91
Tabla 5.18: Masas de las bandas según el tipo [2].	92
Tabla 5.19: Masas los rodillos m'_R [2].	94
Tabla 5.20: Separación entre dos estaciones consecutivas de rodillos [14].	95
Tabla 5.21: Valores del coeficiente C para cintas transportadoras.	97
Tabla 5.22: Factor proporcional para varios motores [2].	107
Tabla 5.23: Ángulos de abrace dependiendo de las diferentes configuraciones.	111
Tabla 5.24: Ecuaciones de las distribución de fuerzas de una banda [2].	117
Tabla 5.25: Tensiones necesarias para dos tambores motrices [2].	122
Tabla 5.26: Factor de participación [5].	128
Tabla 5.27: Factor de servicio [5].	128
Tabla 5.28: Factor ambiental [5].	128
Tabla 5.29: Factor de choque [5].	129
Tabla 5.30: Factor de velocidad [5].	129
Tabla 39: Coeficiente dependiente del tipo de material de la banda	132



CAPITULO 1

Introducción y objeto del proyecto

1.1 Introducción

En las últimas tres décadas, se han producido grandes avances en el transporte industrial, influenciado por las nuevas tecnologías y el desarrollo de diferentes herramientas informáticas que han ido apareciendo a lo largo de los años.

Como consecuencia de la introducción de las herramientas de programación en el mundo del diseño, se ha logrado la creación de sistemas más eficiente y controlados. De esta forma, se puede analizar el comportamiento que tendrán los elementos antes de su fabricación, detectando cualquier anomalía en su funcionamiento, corrigiéndolo y evitando así que estos problemas aparezcan en fases más avanzadas del proceso, donde serían mucho más difíciles y costosos de solucionar. Por ello, hoy en día, se elaboran importantes programas informáticos dedicados al estudio y análisis de los elementos que intervienen en una industria.

Es por ello, que en los últimos años, uno de los campos con mayor desarrollo haya sido el transporte, que como bien su propia definición indica, es de gran relevancia para el desarrollo de un país:

"El transporte se define como el desplazamientos de personas o bienes en el espacio utilizando medios espaciales, o como una compleja actividad económica que interviene de manera directa en el desarrollo del país facilitando la movilidad, o una manera de dotar la accesibilidad al territorio" [4].

Una característica importante del sector del transporte es su elevada participación en la Economía Nacional, medida a través del Producto Interior Bruto, la mano de obra empleada, las inversiones realizadas, los presupuestos nacionales, la energía consumida, el Plan Nacional de I+D, etc. Con lo cual, el transporte realiza una función transcendente para la sociedad. Estas condiciones se traducen en la práctica como funciones específicas de distinto significado político, económico y social, las cuales se pueden agrupar en:

- Las que contribuyen a integrar el estado y a mantener las relaciones físicas de los hombres que constituyen la sociedad.
- Las que satisfacen a las necesidades de desplazamientos de personas y mercancías de los sectores productivos.
- Las que colaboran en la mejora de la calidad de vida.

Considerando estos puntos, el presente Proyecto Fin de Carrera recoge el desarrollo de un software para el diseño de uno de los elementos con mayor transcendencia en las últimas tres décadas dentro del mundo del transporte, las cintas transportadoras.

El software desarrollado en los siguientes capítulos, permite a un usuario realizar un diseño correcto de los elementos que conforman una banda transportadora.

1.2 Objeto del proyecto

El objetivo principal del presente proyecto, es la elaboración de un programa para diseñar una banda transportadora mediante *GUIDE* de *MatLab*, conforme a las normas: *DIN 22101*, *ISO 5048* y *UNE 58204*.

Otro objetivo (secundario), por el que se ha desarrollado este *software*, es ayudar a los estudiantes de Ingeniería Industrial en el cálculo y diseño de una cinta transportador, para así facilitarles el entendimiento de parte del temario de la asignatura de "Transportes en la Ingeniería". El programa se ha elaborado, para que el usuario intuitivamente, con un mínimo de conocimiento, pueda calcular diferentes casos que se dan a la hora de diseñar una banda transportadora. Como se explicará en el capítulo 6, el propio programa dispondrá de una serie de "botones" los cuales ofrecen cierta información al usuario para que en todo momento conozca qué variables son dependientes unas de otras, cuáles son las que son establecidas por el fabricante y cuáles deben ser introducidas por el alumno.

Este programa no solo se ha realizado con fines académicos exclusivos para estudiantes, sino que también es válido para aquellos usuarios que deseen realizar un estudio de los componentes y parámetros necesarios para el desarrollo y diseño de una banda transportadora, permitiendo así un uso más extendido.

Otro de los objetivos del presente Proyecto Fin de Carrera, ha sido el propio aprendizaje del entorno de programación *GUIDE* de *MatLab*, junto al estudio realizado para llevar a cabo el conjunto de elementos que componen la banda transportadora.

1.3 Organización del proyecto

El proyecto consta de 8 capítulos, siendo el primero de ellos la introducción.

El Capítulo 2, *Historia y generalidades*, recorre la evolución del transporte mediante cintas transportadoras, junto a un esquema de datos cronológicos.

El Capítulo 3, *La banda transportadora*, analiza de forma detallada las características principales de la banda transportadora de forma teórica, que elementos la componen, aspectos constructivos, etc. Detalles que son necesarios conocer previamente al cálculo matemático.

El Capítulo 4, *MatLab y GUIDE*, detalla de forma esquemática el funcionamiento del entorno de programación en el que se ha desarrollado el programa, junto con algunos ejemplos.

El Capítulo 5, *Cálculo de una banda transportadora*, aquí se explica los diferentes pasos y cálculo que hay que realizar en el diseño de una banda, desde los cálculos iniciales relacionados con el material a transportar, ancho de banda y



velocidad, hasta las fases finales de diseño en las que se definirán los tambores, rodillos y tipos de bandas que habrá que incluir en el diseño.

El Capítulo 6, *Desarrollo del programa DITRAN*, se centra en el software desarrollado para diseñar bandas transportadoras mediante la utilización del programa *GUIDE* de *MatLab*. Se detallan los pasos a seguir para obtener unos resultados óptimos.

El Capítulo 7, *Conclusiones y trabajos futuros*, recoge las conclusiones finales después de haber desarrollado el presente Proyecto Fin de Carrera, además de exponer todas las posibles modificaciones futuras recomendadas.

El Capítulo 8, *Referencia bibliográfica*, se reflejan todos los documentos bibliográficos consultados para el desarrollo del Proyecto Fin de Carrera.

Anexo1, *Catálogo de bandas Dunlop*, documento justificativo de los diferentes tipos de bandas y tambores *Dunlop*.



CAPITULO 2

Historia y generalidades

2.1 Historia

La historia de las cintas transportadoras se inicia en la segunda mitad del siglo XVII. Desde entonces, las cintas transportadoras han sido una parte inevitable de transporte de material. Pero fue en 1795 cuando la cinta transportadora se convirtió en un medio popular para el transporte de materiales a granel. En un principio, se utilizaban solo para mover sacos de grano en distancias cortas.

El sistema de transporte y de trabajo eran bastante simples en los primeros días. El sistema de transporte disponía de una cama plana de madera y un cinturón que movía dicha cama (*Figura 2.1*). Anteriormente, las cintas transportadoras estaban hechas de cuero, lona o de goma. Este sistema era muy popular para el transporte de objetos voluminosos de un lugar a otro.



Figura 2.1: Cinta transportadora de mitad del S.XIX. Deutsches-Museum, Múnich [25].

A principios del siglo XX, las aplicaciones de las cintas transportadoras se hicieron más amplias. *Hymle Goddard de Logan* fue la primera compañía en recibir la patente para el transportador de rodillos, pero el transportador de rodillos no prosperó. Unos años más tarde, en 1919, se comenzó a utilizar el transportador automotriz, y con ello, la cinta transportadora se convierte en una herramienta popular para el transporte de mercancías pesadas y grandes, dentro de las fábricas.

Durante la década de 1920, las cintas transportadoras eran muy comunes, y por ello sufrieron grandes cambios, utilizándose en las minas de carbón para manejar lotes de más de 8 km. La banda se fabricaba con varias capas de algodón y cubiertas de goma.

Uno de los puntos de inflexión en la historia de las cintas transportadoras, fue la introducción de bandas transportadoras sintéticas. Fueron introducidas durante la Segunda Guerra Mundial, principalmente debido a la escasez de materiales naturales como el algodón, el caucho y lona. Desde entonces, las cintas transportadoras sintéticas se han hecho populares en diversos campos.

Con la creciente demanda en el mercado, muchos polímeros sintéticos y telas comenzaron a ser utilizados en su fabricación. Hoy en día, el algodón, la lona, el EPDM, cuero, neopreno, nylon, poliéster, poliuretano, uretano, PVC, caucho, silicona y acero se utilizan comúnmente en su diseño. La elección del material utilizado para su fabricación, en definitiva, está determinada por su aplicación.

2.1.2 Datos cronológicos

Al contrario que otros medios de transporte, las cintas transportadoras han hecho su aparición en fechas relativamente recientes. A continuación se reseñan las fechas conocidas de su invención y de su desarrollo posterior.

Año 1795: Invención por Oliver Evans, en U.S.A. (*Figura 2.2*). Primera cinta empleada en el transporte de grano; cinta descendente automotriz cuyo material era de cuero o lona.

Año 1859: Instalación de cintas en el canal de Suez para la construcción del mismo por Fernando de Lesseps (*Figura 2.3*).

Año 1860: Instalación en Siberia de un conjunto de cintas, para el transporte de arena, por el Ingeniero Ruso Lopatine.

Año 1868: Graham Wesmacott y Lyster emplearon cintas de lona recubiertas con goma usando rodillos planos con los extremos levantados, en este diseño, la velocidad de la banda no era constante, causando un rápido desgaste en los bordes de la misma. Entonces, fue necesario utilizar rodillos planos, pero su consecuencia fue la disminución de la capacidad de la banda. En este año, también se montaron los primeros dispositivos de descarga "*trippers*".

Año 1885: En Estados Unidos Thomas Robbins inventó la terna de rodillos solucionando los problemas de desgaste de la banda. Wesmacott y Lyster aumentaron la capacidad de transporte utilizando este sistema en sus instalaciones. Actualmente se conserva este diseño de rodillos.

Año 1900: Invención del *Sándwich-Conveyor*. Una variación del mismo fue desarrollada por la firma *Stephens Adamson* y es conocida como el *Loop Conveyor*, esta cinta se usó inicialmente para la descarga de barcos, alcanzando gran éxito, tanto que el sistema es empleado actualmente.

Año 1919: Desarrollo de la cinta *Booster*. Una variante de la cinta del sistema *HORSTEMANN*, que fue realizada por la firma alemana *Krupp*, en cooperación con la *RHEINISCHE BRAUNKOHLENWERKE A.G.* de Colonia.

Años 1920-1950: El transporte por cinta experimentó un gran avance durante este periodo, aunque algo retardado porque las bandas de algodón empleadas, al no ser de gran resistencia, obligaban a usar un gran número de telas (hasta 8), siendo poco flexibles. Además requerían el empleo de una terna de rodillos de solo 20° y tambores de gran diámetro. En estos años también se instaló la primera banda *Steelcord* en Estados

Unidos (1942) y se inventó el *Cable Belt* (1949), pero hasta 1953 no se hizo uso de ella, instalándose en la mina *Frances Colliery*, Escocia, con una longitud de 720 m y una capacidad de 170 T/hora.

Año 1960: Invención de las bandas de Poliéster, desplazaron rápidamente a las de algodón debido a su alta resistencia, produciendo un aumento en la capacidad y las longitudes de transporte.

Año 1963: Empleo de las cintas con curvas horizontales en el metro de París para la extracción de materiales, más tarde, se instaló el mismo sistema en la mina subterránea de Ouenza en Marruecos. En la actualidad hay instaladas más de 80 cintas, principalmente por firmas Alemanas.

Año 1965: Inicio del empleo generalizado de las bandas ST *Steelcord*, originando un cambio similar al experimentado al pasar de las bandas de algodón a las de poliéster.

Año 1970: Invención del *Pipe Conveyor* (Cintas Tubulares) por *JAPAN PIPE CONVEYOR*, siendo muy exitosas. En este año también se inventa la cinta *AEROBELT* (cinta con cojín de aire), desarrollada por el profesor *JONKERS* junto con la firma holandesa *SLUIS Machinefabrik*.

Año 1973: Invención del *Pinch Roll Drive Conveyor*, desarrollada por *B.F. GOODRICH* de USA. Fue poco exitosa, pues solo se instaló en una mina subterránea de Nuevo México.

Año 1977: La cinta *Flexowell*, (cinta de gran inclinación) se desarrollada por la firma alemana *CONRAD SCHOLTZ*, y se presentó en la feria de *HANNOVER* del año 1977, esta cinta cumplía con los mismos objetivos de la cinta *sándwich* o la *H.A.C (High Angle Conveyor)*.

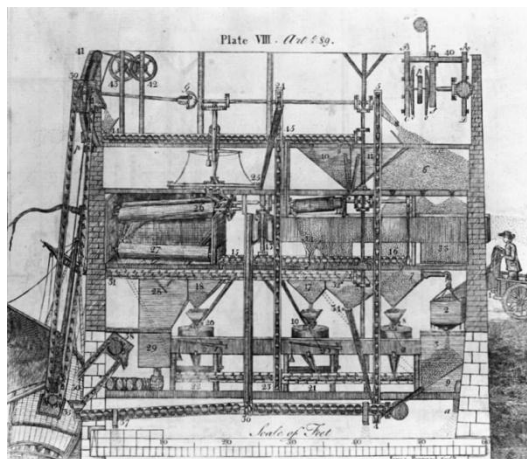


Figura 2.2: Máquina automotriz de Oliver Evans 1795 [20].



Figura 2.3: Draga con cinta transportadora de 60 m. Canal de Suez [26].

2.2 Generalidades

2.2.1 *Materiales a transportar, tamaños y temperaturas*

Los primeros materiales que se transportaron por cinta y de los que se tiene noticia histórica, fueron los cereales, las harinas y salvados derivados de los mismo. Con posterioridad, el otro producto más transportado fue el carbón y ello sucedió principalmente en Inglaterra, a consecuencia de la explotación de las minas desde el S.XIX hasta hoy en día. Las capacidades a transportar y las distancias eran pequeñas desde el punto de vista actual.

Desde aquellos comienzos, el empleo de cintas transportadoras se ha ido extendiendo de una forma progresiva a casi todos los materiales a granel encontrados en su estado natural y empleados en industrias de todo tipo, entre los que se puede citar todos los minerales, piedras, gravas y tierras (*Figura 2.4*). También se transportan productos fabricados partiendo de los naturales, tales como el *cok*, *clinker*, cementos, etc. En la agricultura también se transportan productos como patatas remolacha etc.

Puede decirse, que las cintas transportadoras se emplean principalmente en las industrias extractoras, como minas subterráneas y a cielo abierto, canteras y graveras. industrias siderúrgicas, centrales térmicas, instalaciones de almacenamiento, industrias fertilizantes y otras industrias menos importantes.

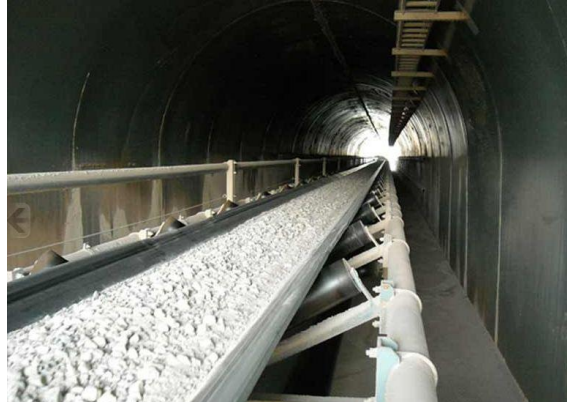


Figura 2.4: Cinta transportadora de acopio de hormigón. Industria CAES [19].

Desde el punto de vista del tamaño del material a transportar, hoy en día, la dimensión de los trozos o partículas, varía desde el polvo hasta 300 o 400 mm, por lo que para el caso de piedras en las canteras es necesaria una previa trituración.

En lo que se refiere a temperaturas, pueden transportarse materiales como *clinker* y el *cok*, con temperaturas de hasta más de 200° C, gracias a los avances logrados en la fabricación de recubrimientos con gomas de calidad adecuada.

2.2.2 Capacidades a transportar y longitudes

Teniendo en cuenta el proceso de fabricación de bandas, tanto en anchura como en calidades, es corriente en la actualidad el transporte de hasta 10000 T/hora, existiendo cintas especiales que transportan hasta 50000 T/hora. Respecto a la longitud, existen cintas de hasta 30 km (Figura 2.5).



Figura 2.5: Cinta transportadora para extracción de fosfatos de Marruecos [16].

2.2.3 Ventajas ambientales y de seguridad

Para evitar la dispersión de polvos, es necesario realizar un recubrimiento de la cinta transportadora en su recorrido, contribuyendo así a mantener una atmósfera limpia. En la actualidad es posible reducir por completo la emisión de polvo al exterior mediante

la instalación de cintas tubulares (*pipe conveyors*), esto es obligatorio si la cinta está cercana a núcleos urbanos.

2.2.4 Carga y descarga

Aunque en general las cintas transportadoras se cargan y descargan en los extremos de la misma, es posible efectuar la carga en un punto cualquiera a lo largo de su longitud mediante dispositivos diversos, como son las tolvas, o directamente sobre otras cintas. La descarga de las cintas se efectúa por lo general en cabeza, pero es posible hacerla también en cualquier punto fijo de la misma, o de una forma continua, empleando disposiciones constructivas adecuadas como son los *trippers* y derivados laterales. Mención especial merece la carga cuando se lleva a cabo en los parques de minerales (*Figura 2.6*), pues se efectúa en toda su longitud mediante un carro de recogida, generalmente llamado *reclaimer*.



Figura 2.6: Reclaimer de la mina de carbón de Kestrel. Australia [16].



CAPÍTULO 3

La banda transportadora

3.1 Introducción

En la actualidad, el procesamiento de un producto industrial, agroindustrial, agrícola y minero están sujetos a diferentes movimientos, ya sean en sentido vertical, horizontal e inclinados. Para cumplir este objetivo, son utilizados equipos con el nombre de cintas transportadoras.

Las cintas transportadoras, vienen desempeñando un rol muy importante en los diferentes procesos industriales y esta se debe a varias razones entre las que se destacan las grandes distancias a las que se efectúa el transporte, su facilidad de adaptación al terreno, su gran capacidad de transporte, la posibilidad del transporte de los diversos materiales (minerales, vegetales, combustibles, fertilizantes, materiales empleados en la construcción etc.)

3.2 Partes de una cinta transportadora

3.2.1 Generalidades y funciones

Las cintas transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es transportar, elevar o distribuir materiales hacia otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que las manipule directamente de forma continuada.

Las cintas transportadoras sirven para el transporte horizontal o inclinado de objetos sólidos o material a granel cuyas dos ventajas principales son:

- ✓ Gran velocidad.
- ✓ Grandes distancias.

Su función más importante, a nivel de transporte, es hacerlo de forma continua, tanto de materiales homogéneos como mezclados, a distancias que pueden oscilar entre algunos metros y decenas de kilómetros.

Uno de los componentes principales de los transportadores es la banda de goma, que ejerce una doble función:

- ✓ Contener el material transportado.
- ✓ Transmitir la fuerza necesaria para transportar la carga.

Los ramales, superior y de retorno de la banda, descansan sobre una serie de rodillos soportados por estructuras metálicas. En los dos extremos del transportador, la banda se enrolla en tambores, uno de los cuales, acoplado a un órgano motor, transmite el movimiento.

La Figura 3.1 muestra un esquema general de una cinta transportadora. En él se pueden ver los distintos elementos que la componen.

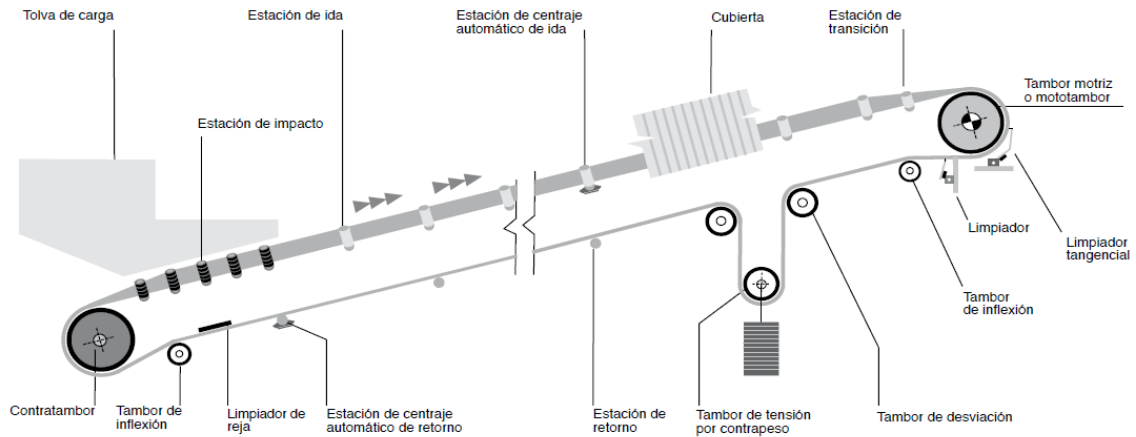


Figura 3.1: Componentes principales de una cinta transportadora [5].

3.3 La banda

3.3.1 Clasificación y tipos

La banda es uno de los elementos más importantes de toda la instalación y se le puede considerar como el elemento principal, pues tiene que ser capaz de cumplir las siguientes funciones:

- ✓ Absorber las tensiones desarrolladas en el arranque.
- ✓ Transportar la carga.
- ✓ Absorber la energía de impacto en el punto de carga.
- ✓ Resistir a los efectos de temperatura y agentes químicos (calor, aceite y la grasa que contiene los materiales, acidez, etc).
- ✓ Cumplir con los requisitos de seguridad como la resistente al fuego.

También en el aspecto económico es, en general el componente de mayor precio, tal como se indica en la *Tabla 3.1*.

Tabla 3.1: Coste de la banda [1].

B (mm)	L (m)	Coste de la Banda (% del total)
650	30	13
650	79	18
800	300	23
800	380	33
1000	100	16
1000	124	18

3.3.1.1 Tipos principales de bandas [1]

Las bandas se pueden clasificar atendiendo a diferentes aspectos:

- ✓ Según el tipo de tejido:
 - ✓ De algodón.
 - ✓ De tejidos sintéticos (*Figura 3.2*).
 - ✓ De cables de acero (*Figura 3.2*).
- ✓ Según la disposición del tejido:
 - ✓ De varias telas o capas (*Figura 3.2*).
 - ✓ De tejido sólido (*Figura 3.4*).
- ✓ Según el aspecto de la superficie portante de la carga:
 - ✓ Lisas (*Figura 3.2*).
 - ✓ Rugosas (*Figura 3.5*).
 - ✓ Con nervios, tacos o bordes laterales vulcanizados (*Figura 3.6*).

Las bandas lisas son para instalaciones horizontales y con un pequeño ángulo de inclinación. Las calidades de sus recubrimientos y su carcasa exterior, pueden combinarse adecuadamente según las exigencias de funcionamiento. La fabricación estándar abarca anchos desde 400 a 1600 mm. Para utilizaciones específicas se pueden fabricar hasta un ancho de 2200 mm con bandas reforzadas (*Figura 3.3*).

Las bandas rugosas sirven para incrementar el coeficiente de adherencia de los materiales transportados, pudiendo funcionar tanto en plano horizontal como inclinado. Este tipo de superficie se suele utilizar en el transporte típico de aeropuertos, sacos de correo, fardos, etc (*Figura 3.5*). Su recubrimiento puede realizarse, según las necesidades, con cualquiera de las calidades descritas en la *Figura 3.6*, confeccionándose con 1200 mm de ancho máximo. Existen multitud de tipos de grabados de rugosidad.

Las bandas nervadas son usadas para instalaciones con elevado ángulo de inclinación, las cuales evitan el retroceso o caída del producto transportado, incrementándose la capacidad de carga de la banda. En función de las características del material transportado y el ángulo de inclinación del transportador, se determina el tipo y altura del perfil más adecuado, consiguiéndose perfiles de hasta 70° de inclinación. Se fabrican en anchos de 400, 500, 600, 650, 800, 1000 y 1200 mm. (Ésta última se puede fabricar con los nervios a 1000 o 1200 mm).



Figura 3.2: Bandas con tejido sintético (EP) y bandas con cable de acero (ST) [13].

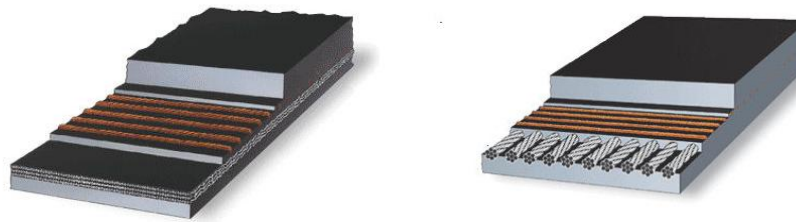


Figura 3.3: Bandas con tejido sintético (EP) y bandas con cable de acero (ST) reforzado [13].

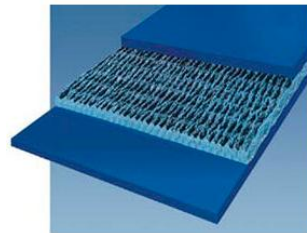


Figura 3.4: Bandas con tejido solido (*Solid Woven*) [13].

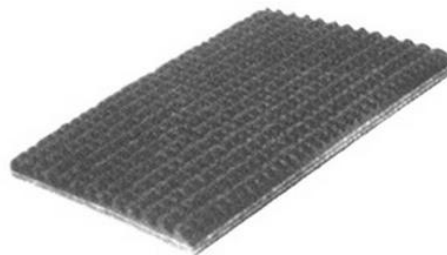


Figura 3.5: Bandas con perfil rugoso [27].

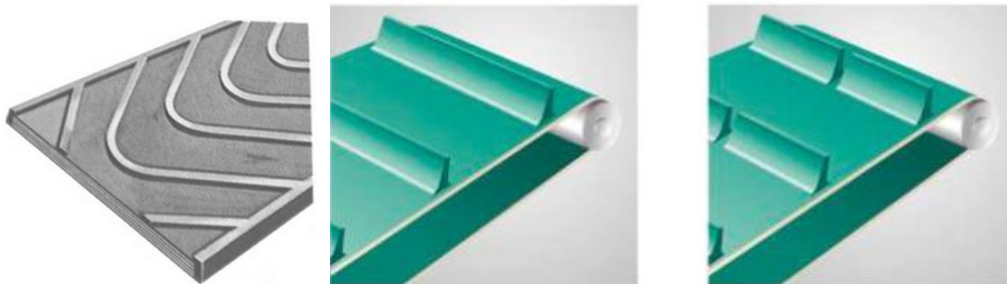


Figura 3.6: Bandas con perfil rugoso [27].

3.3.2 Constitución de la banda

3.3.2.1 Carcasa y recubrimientos

La banda, al cumplir la función de transportar, está sometida a la acción de las fuerzas longitudinales que producen alargamientos y el peso del material entre las terna de rodillos portantes, que producen flexiones locales, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal, y ello a consecuencia de la adaptación de la banda a la terna de rodillos. Además de los impactos del material sobre la cara superior de la banda, que producen erosiones sobre la misma. Para soportar adecuadamente estas influencias, la banda está formada por dos componentes básicos (*Figura 3.7*):

- ✓ *El tejido o carcasa*, que transmite los esfuerzos.
- ✓ *Los recubrimientos*, que soportan los impactos y erosiones.

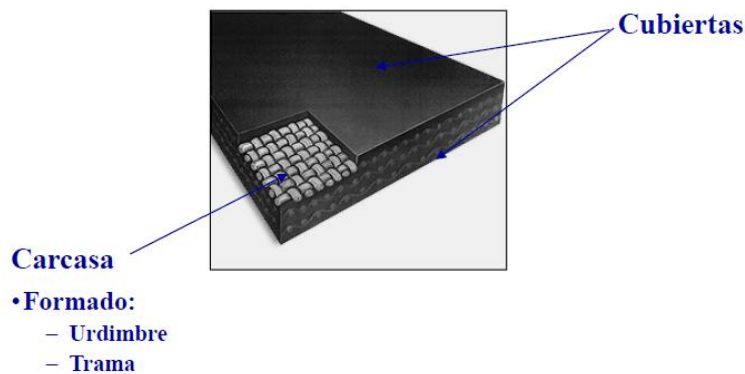


Figura 3.7: Partes de una banda [11].

La carcasa está constituida por la urdimbre o hilos longitudinales y por la trama o hilos transversales. La urdimbre, que soporta los esfuerzos de tracción longitudinales, es en general bastante más resistente que la trama, la cual solo soporta esfuerzos transversales secundarios, derivados de la adaptación a la forma de artesa y de los producidos por los impactos. La rigidez transversal de la trama, no debe ser excesiva, con el fin de que la banda pueda adaptarse bien a la artesa formada por la terna de rodillos. El número mínimo de telas de la carcasa, para bandas utilizadas en el transporte de materiales a granel es de 3, en algunos fabricantes 2. El tejido de las telas de la carcasa está embebido en goma virgen, y a su vez el conjunto de las telas se unen entre sí con la misma goma virgen.

Los recubrimientos o partes externas están formados por elastómeros (caucho natural), PVC u otros materiales. El recubrimiento superior es el que soporta el material el inferior es el que está en contacto con los rodillos, por ello, el recubrimiento superior tendrá mayor espesor que el inferior.

3.3.2.2 Tejidos

Los tejidos empleados en la actualidad para el diseño de una banda, son los mostrados en la *Tabla 3.2*.

Tabla 3.2: Tipos de tejidos.

Nombre Común	Designación
Algodón	B
Rayón	Z
Poliéster	E
Poliamida	P
Cable de Acero	St

Los tejidos naturales como el algodón se emplean muy poco en la actualidad al haber sido sustituido por el tejido sintético como es el rayón, poliéster y la poliamida además de por el cable de acero.

De los tejidos sintéticos los más empleados son el poliéster (E) para la urdimbre y la poliamida (P) para la trama, dando origen a un tejido llamado EP. Respecto al poliéster se puede decir que es una fibra química conocida comercialmente como *TREVIRA* y *TERYLENE*. En cuanto a la poliamida también es una fibra sintética conocida como *NYLON* y *PERLON*.

Debido a la necesidad de conseguir que las bandas sean capaces de soportar mayores tensiones, ha llevado a desarrollar la fabricación de bandas con cable de acero. En estas, la urdimbre está formada por cables de acero cuyos hilos están completamente galvanizados y embebidos en la goma para garantizar la marcha recta de la banda. Las diferentes resistencias de las bandas se logra utilizando cables de distintos diámetros y a su vez el espaciado entre cables también varía. La rigidez transversal se logra en general por la propia goma, que al ser más flexible que el tejido empleado en la trama de las bandas EP, le confiere mayor ángulo de artesía.

Por último se habla de la banda de tejido sólido. *Solid woven*. Su característica más destacada es que el recubrimiento es parte integral de la banda, dándole mayor resistencia al fuego e impidiendo la penetración del agua. Además, su no separación de la carcasa le confiere una propiedad inherente de tejido sólido. Las fibras sintéticas de la urdimbre proporcionan la resistencia a tracción y las fibras exteriores se encargan de amortiguar los impactos. Son muy resistentes al desgaste de los bordes de la banda, impidiendo la separación de sus fibras.

El espesor de los recubrimientos de la carcasa se define en función del tipo de aplicación de la banda y de la anchura de ésta, además de otras características como el tipo de material y grado de abrasividad.

Como se ha dicho en el párrafo anterior, la goma o caucho es el elemento básico de los recubrimientos. Tomando en consideración las propiedades mecánicas de resistencia, alargamiento y abrasión, se han establecido las categorías W, X, Y, Z en la *Tabla 3*.

Tabla 3.3: Calidad de los recubrimientos. Norma DIN 22102 [1].

Calidad de los Recubrimientos	W	X	Y	Z
Resistencia a la tracción Longitudinal [N/mm ²]	18	25	20	15
Alargamiento de rotura longitudinal [%]	400	450	400	350
Abrasión [mm ³]	90	120	150	250

La cubierta protege a la carcasa de la abrasión y cualquier otra condición local que contribuya al deterioro de la banda. En algunos casos muy concretos, estas condiciones pueden ser moderadas de tal forma que no se requiere protección ni cobertura para la banda. En otros casos, la abrasión y el corte pueden ser tan severos que se requiera una cubierta superior más gruesa de lo normal. De cualquier modo, el propósito de la selección de la cubierta es suministrar suficiente protección a la carcasa con el fin de que llegue al límite de su vida útil.

3.3.2.3 Bandas especiales

Hasta ahora, todo lo que se ha hablado de recubrimientos ha sido referido a superficies lisas, adecuadas para el transporte de sólidos a granel pero con una inclinación limitada, siendo ésta del orden de 18° a 25°. Para poder alcanzar mayores inclinaciones de transporte el revestimiento exterior no puede ser liso, y para ello, existen los siguientes métodos a aplicar a la superficie de revestimiento:

1. Dotar de pequeña rugosidad al mismo, en forma de espina de pescado, botones puntas de diamante, etc. Se emplean con la banda plana, para el transporte de objetos aislados, tales como cajas de madera o cartón, piezas de botellas. Pueden lograrse inclinaciones de 25° a 40°, dependiendo del material a transportar.
2. Vulcanizar sobre el revestimiento liso exterior, bordes o marcas de un altura de 10 a 20 mm, adaptando a estos nervios una forma de V, muy empleados en cintas de obras y agricultura, consiguiendo una inclinación de 30°.
3. Vulcanizado sobre el revestimiento exterior de perfiles diversos, de altura media y grande. A este tipo de banda corresponde los bordes corrugados, las cuales se emplean con mayor frecuencia. Las capacidades que pueden transportar cubren toda la gama, desde pequeñas hasta grandes, con la ventaja de que pueden alcanzar inclinaciones de 90°, convirtiéndose en transporte totalmente vertical, compitiendo con los elevadores de cangilones, tanto en altura como en capacidad.

3.3.3. Dimensiones y pesos de las bandas

El ancho de banda ha sido normalizada por la norma DIN y por la norma ISO, en medidas métricas cuyos valores vienen definidos en la *Tabla 3.4*.

Tabla 3.4: Anchos de banda normalizados.

300	400	500	650	800	1000
1200	1400	1600	1800	2000	2200

El espesor de la banda es otra dimensión importante, al depender del mismo el diámetro de los tambores. Realmente es solo el espesor de las telas el que influye en el cálculo del diámetro de los tambores, pues el espesor de los recubrimientos de goma apenas influye en la rigidez. El espesor total de la banda será la suma del espesor de cada una de las telas más el espesor de cada recubrimiento. Lo mismo ocurre con el peso de la banda, será el correspondiente a la suma de la carcasa más la suma del peso de los recubrimientos.

3.3.4 Uniones de las bandas

Las uniones de las bandas pueden ser vulcanizadas o grapadas. Para bandas cortas del orden de 20-30 metros se suministran cerradas, es decir en sin-fin, efectuándose por tanto la vulcanización en fábrica, por el contrario, en bandas largas la unión se hace normalmente vulcanizando en obra o mediante grapas metálicas, este es el caso de las bandas del interior de mina, que por falta de espacio es imposible vulcanizarlas (*ver Figura 3.8*). Las condiciones que debe cumplir una unión mediante grapas son:

- ✓ Garantizar igual resistencia en el empalme que en la propia banda.
- ✓ Facilitar la adaptación de los tambores.
- ✓ Posibilitar la adaptación en los dos sentidos.
- ✓ Poseer flexibilidad transversal.
- ✓ No deteriorar las telas de las bandas.

Los inconvenientes, se detallan a continuación:

- ✓ Posibilidad de penetración de la humedad y el polvo en la carcasa, con posibilidad de ataque de productos químicos al quedar las telas al descubierto.
- ✓ No poder emplearse en cintas para el transporte de personal, por el riesgo de producir heridas en las personas.



Figura 3.8: Unión por grapas y unión vulcanizada [13] y [17].

3.3.5 Longitudes de transición

El paso de la banda desde la forma de artesa a la forma plana en los tambores es llamada longitud de transición. A consecuencia de ella, los bordes de la banda sufren un alargamiento adicional que afecta a las partes centrales de la misma. En las zonas de transición correspondiente al tambor motriz, al ser las tensiones grandes, las tensiones en los bordes pueden exceder las toleradas, produciendo un alargamiento permanente que puede afectar al buen funcionamiento de la banda, así como a la aparición de grietas que den origen a roturas. Por el contrario, en la zona de transición del tambor de reenvío, al ser las tensiones más pequeñas, no se presenta el problema de alargamiento excesivo, pero la diferencia de tensiones puede originar bucles en el centro de la banda. Es por ello necesario el cálculo de las distancias a las que se debe ajustar los rodillos principales respecto al tambor motriz para evitar así los problemas ya comentados. Este cálculo se analizará en el capítulo 5.

3.4 Rodillos y soportes

3.4.1 Generalidades

Los rodillos son uno de los componentes principales de una cinta transportadora, y de su calidad depende en gran medida el buen funcionamiento de la misma. Si el giro de los mismos no es bueno, además de aumentar la fricción y por tanto el consumo de energía, también se producen desgastes de recubrimientos de la banda, con la consiguiente reducción de la vida de la misma. Si los rodillos se inmovilizan, al rozar la banda contra ellos se produce planos en la superficie cilíndrica que con el tiempo puede producir la rotura de los mismos.

Uno de los componentes más importante de los rodillos y que más influye son los rodamientos. En Europa, los más empleados son los rodamientos de bolas, de una hilera, mientras que en U.S.A. se emplean los rodamientos cónicos.

El otro componente que en orden de importancia influye en la vida del rodillos, es el sistema de juntas de estanqueidad, pues de la eficacia de esta depende la mayor o menor contaminación de la grasa lubricante. En cuanto a los tipos de rodillos, se puede decir que hay tres tipos fundamentales:

- ✓ *Rodillos cilíndricos con la superficie exterior lisa*, tal como la obtenida mediante el empleo de tubos de acero.
- ✓ *Rodillos cilíndricos recubiertos de goma*, adecuados para soportar impactos pequeños.
- ✓ *Rodillos cilíndricos de aros de goma*, si se montan en los rodillos portantes pueden soportar grandes impactos, usados en la zona de carga. Si se montan en la zona de retorno, deben ser adecuados para facilitar la limpieza de la banda.

3.4.2 Constitución del rodillos

Aun teniendo en cuenta su simplicidad, las formas constructivas de los rodillos son muy variadas en los que se refiere a los sistemas de estanqueidad que se han ideado para impedir la penetración de la suciedad en los rodamientos. Su evolución ha sido continua desde el primer diseño de los mismos en el siglo XIX hasta ahora.

Sus componentes principales se detallan a continuación (*ver Figura 3.9*):

- ✓ *Rodamientos*: Como ya se ha señalado en el párrafo anterior, en Europa se emplean los rodamientos de bolas y en U.S.A. los rodamientos cónicos. Se sabe que los rodamientos de bolas tiene una capacidad de carga, tomando como base el diámetro interior, lo suficiente para soportar cargas, velocidades y tiempos de duración exigidos por los usuarios de los rodillos, siendo además poco sensibles a la falta de alineación entre los mismos. Su coeficiente de fricción es reducido. Por el contrario, los de rodamientos cónicos tienen una capacidad de carga muy amplia, pero tienen el inconveniente de ser más sensibles a la falta de alineamiento.
- ✓ *El sistema de estanqueidad*: Está constituido por el conjunto de juntas, ya sean laberíntica o de fricción. De su eficacia depende la vida de los rodamientos, y por tanto, del rodillo. Existen multitud de dispositivos constructivos siendo difícil evaluar la eficacia relativa de los mismos.
- ✓ *El Eje*: Es un componente sencillo, siendo la precisión y coaxialidad de las zonas de asiento de los rodamientos, las dos condiciones exigidas al mismo. Suelen fabricarse de aceros finos al carbono.
- ✓ *El cuerpo del rodillo*: Está formado por el tubo cilíndrico y por los extremos o cubos del mismo. Hasta no hace mucho tiempo se construían de una sola pieza en fundición gris. Se empleaban en minería subterránea y eran muy pesados. Posteriormente, se fabricaron de acero y los cubos de fundición gris. Hoy en día, se fabrican más ligeros siendo la parte cilíndrica también de tubo de acero, pero los cubos son de acero suave embutido, soldados al tubo.

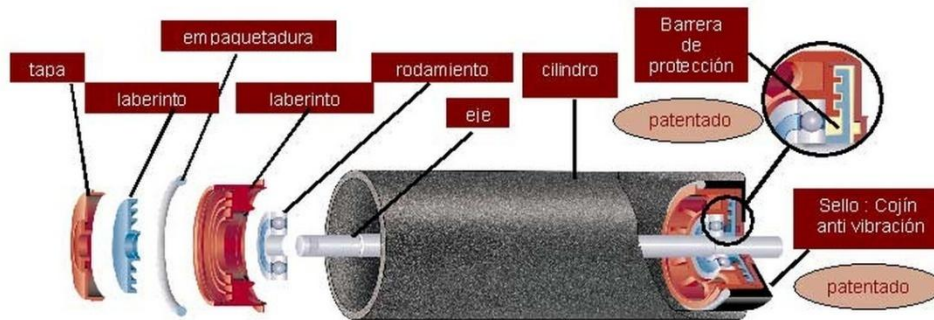


Figura 3.9: Partes detalladas de un rodillo [19].

Las dimensiones de los rodillos, según la norma DIN 15207 y 22107, se recogen en la *Tabla 3.5*.

Tabla 3.5: Diámetros de los rodillos [6].

Diámetro de los rodillos [mm]								
Rodillos portantes	51	63,5	88,9	108	133	159	193,7	219
Rodillos de impacto				156	180	215	250	290

3.4.3 Funciones de los rodillos

Las funciones a cumplir son principalmente tres [11]:

1. Soportar la banda y el material a transportar por la misma en el ramal superior, y soportar la banda en el ramal inferior. Los rodillos del ramal superior situados en la zona de carga, deben soportar además el impacto producido por la caída del material.
2. Contribuir al centrado de la banda, por razones diversas la banda está sometida a diferentes fuerzas que tienden a descentrarla de su posición recta ideal. El centrado de la misma se logra, en parte, mediante la adecuada disposición de los rodillos, tanto portantes como de retorno.
3. Ayudar a la limpieza de la banda, aunque la banda es limpiada por los rascadores, cuando el material es pegajoso pueden quedar adheridos restos del mismo, que al entrar en contacto con los rodillos inferiores puede originar el desvíos de la misma. Para facilitar el desprendimiento de este material se emplean rodillos con discos de goma (rodillos autolimpiadores).

3.4.4 Disposición espacial de los rodillos

Para que los rodillos cumplan las funciones anteriores, deben adoptar diversas disposiciones espaciales, como se observa en las *Figura 3.10* y *Figura 3.11*.

Disposición rígida en el ramal superior:

- ✓ *Un solo rodillo.*
- ✓ *Dos rodillos situados en V.*
- ✓ *Tres rodillos situados en forma de artesa.*

- ✓ *En Guirnalda (ver Figura 3.11):* La disposición en guirnalda consta de tres o cinco rodillos enlazados mediante articulaciones en los extremos de los ejes, formando una guirnalda. La posición de equilibrio que adoptan los rodillos es una poligonal y la sección de transporte es aproximadamente constante. Dentro de este tipo existen variantes con articulaciones en los ejes, las cuales se deslizan en el interior del cuerpo del rodillo. Con ello se logra una artesa de sección variable en función de la carga.
- ✓ *En Catenaria:* Esta disposición consta de varios rodillos de corta longitud, enlazados mediante un eje flexible (cable de acero), cuya posición de equilibrio es aproximadamente el de una catenaria.

En estas disposiciones, los rodillos están situados de forma fija o rígida mediante un soporte metálico llamado puente o soporte. La sección de transporte es constante. El conjunto de rodillos y soportes forma la estación portante (ver Figura 3.10).

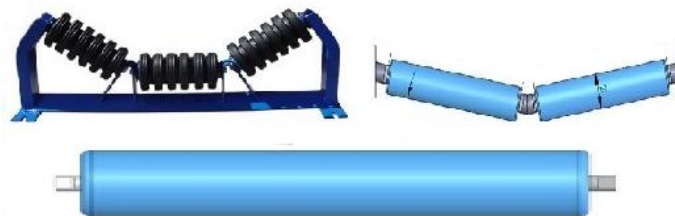


Figura 3.10: Disposiciones rígidas de los rodillos [18].

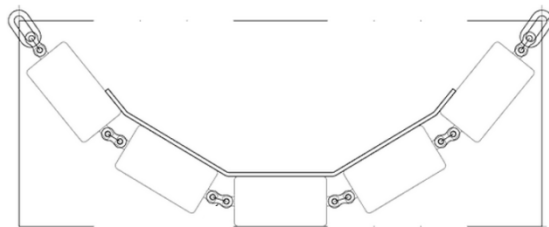


Figura 3.11: Disposición en guirnalda de los rodillos [18].

Disposición rígida en el ramal inferior:

- ✓ Un solo rodillos liso, engomado o con discos de goma.
- ✓ Dos rodillos lisos colocados en forma de V, lisos engomados y con discos de goma. El conjunto es llamado estación de retorno.

En cada una de las configuración constructivas anteriores existen diferentes variaciones que les confieren otras propiedades y que definen por completo la función del rodillo. Estas variaciones son las siguientes:

- ✓ *Ángulo de artesa,* ángulo formado en el plano vertical por los rodillos portantes laterales en relación al central, y que definen la capacidad de transporte; estos ángulos son normalmente de 20°, 30°, 35° y 45°.

- ✓ *Convergencia*, es la disposición en planta de los rodillos, que influye en el centrado de la banda, y que consiste en adelantar los frentes exteriores de los rodillos laterales respecto del central, con lo cual se logra la inclinación de los ejes de los mismo, a esto se le llama convergencia o "*pinzaje*".
- ✓ *Relación entre las longitudes de los rodillos laterales y la del rodillo central*. Según la norma DIN antes citadas, dicha relación es 1:1, esto es los tres rodillos de la terna son iguales, pero en U.S.A. y en Inglaterra esta relación no se cumple.

3.4.4.4 Estaciones autocentradoras

En algunos casos, no es suficiente la acción centradora sobre la banda llevada a cabo por las disposiciones constructivas que se acaba de reseñar, por lo cual es necesario el empleo de una disposición espacial que da origen a las llamadas estaciones autocentradoras" (ver Figura 3.12). Estas estaciones pueden montarse en el ramal superior, en el inferior o en ambos. Su constitución, cuando se monta en el ramal superior es básicamente en una terna de rodillos normales, a la cual se la ha dotado de un eje de giro vertical y de dos pequeños rodillos con su eje casi vertical, situado en las proximidades de los extremos más alejados de los rodillos laterales.

En las estaciones autocentradoras de retorno, se sustituye la terna de rodillos por un solo rodillo liso, manteniéndose todo lo demás.

En las cintas reversibles no deben montarse estos dos tipos de estaciones porque su acción sería favorable cuando funcionasen en un sentido, pero en el otro sería desfavorable. Por esta razón, el centrado en estas cintas solo puede efectuarse colocando las estaciones con los rodillos adelantados con "*pinzaje*", la mitad orientada hacia un sentido y la otra mitad orientada en el otro.



Figura 3.12: Estación autocentradora. Ramal superior [5].

3.5 Tambores

3.5.1 Generalidades

Se comienza el estudio de los tambores, indicándose sus componentes principales:

- ✓ *Envolvente cilíndrica y discos laterales, formando un solo cuerpo.*
- ✓ *Eje.*
- ✓ *Elementos de Unión.*
- ✓ *Recubrimientos.*

Aunque estos componentes son sencillos, su forma constructiva y materiales han ido evolucionando en el transcurso del tiempo. Desde el punto de vista de las funciones a desempeñar se clasifican los tambores en dos grandes grupos: Los motrices, encargados de transmitir las fuerzas tangenciales a la banda, y los no motrices, los cuales realizan un cambio de trayectoria de la banda.

3.5.2 Formas constructivas y dimensiones generales

Los primeros tambores se construían con el eje de acero pero con la envolvente y los discos de madera. Posteriormente, se construyeron con la envolvente de acero suave y los discos de fundición gris, y en la actualidad se hacen en construcción electrosoldada, siendo el material de la envolvente acero suave, y los discos, ya sea de acero suave también o de acero moldeado. Otros menos usados, son los tambores de jaula de ardilla, empleados cuando la cinta transporta materiales pegajosos.

Las dimensiones principales (diámetro y longitud), están normalizadas. Los diámetros según DIN 22101 y las longitudes según ISO 1536. En la *Tabla 3.6* y en la *Tabla 3.7*, se detallan tanto los diámetros como las longitudes.

Tabla 3.6: Diámetros de tambores DIN 22101.

Diámetro de los tambores [mm]									
190	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1600

Tabla 3.7: Longitud de los tambores.

Ancho de Banda [mm]	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2200
Ancho de Tambor [mm]	500	600	750	950	1150	1400	1600	1800	2000	2200

La determinación de los diámetros depende del tipo de banda empleada y del espesor de las telas o el diámetro del cable de acero, según el caso, a su vez estos espesores o diámetros dependen de la tensión máxima en la banda.

Conocido el tipo de banda también se sabe el espesor de la carcasa y con ello el diámetro del tambor motriz, que es el básico, de acuerdo con la norma DIN 22101, multiplicando dicho espesor en *mm* por el factor 108 para bandas EP o 145 para las bandas ST, redondeando a valores normalizados de la *Tabla 3.6*.

Para los diámetros de los demás tambores, al estar sometidos en general a menores tensiones, no será necesario que tengan los mismos diámetros que el motriz. La norma DIN 22101 clasifica los tambores en 3 grupos, dependiendo de la magnitud de la tensión a las que están sometidos:

- ✓ *Grupo A:* Motrices, están sometidas a tensiones del 60% al 100%.
- ✓ *Grupo B:* Tambores no motrices, sometidas a menores tensiones que las anteriores.
- ✓ *Grupo C:* Tambores no motrices, sometidas a menores tensiones pero con un ángulo de arrollamiento menor de 90°.

Otros fabricantes, indican en sus catálogos dichos diámetros dependiendo del tipo de banda que fabrican, como será nuestro caso desarrollado en el software, con el fabricante *Dunlop*.

3.5.3 Tipos de tambores y funciones que realizan

Como se ha señalado en el punto 3.5.1, según la función que realizan los tambores se clasifican en dos grandes grupos (*ver Figuras 3.13 y 3.14*): Los motrices, encargado de transmitir las fuerzas tangenciales producidas por el grupo moto-reductor a la banda, y los no motrices, que realizan la función de cambio de trayectoria de la banda y a su vez pueden subdividirse en otros tipos dependiendo de la posición de los mismos sobre la banda, como se muestra en la *Figura 3.15*. De acuerdo con lo expuesto, se diferencian los tambores:

- ✓ *De reenvío*, situado en la cola de la cinta.
- ✓ *Tensores*, situados en cabeza o cola de la cinta dependiendo de dónde esté situado el sistema de tensado.
- ✓ *De desvío*, situado generalmente en la estación tensora de cabeza.
- ✓ *De inflexión o presión*, encargados de aumentar el ángulo de arrollamiento entre tambor y banda, así como el valor del factor de transmisión.
- ✓ *De descarga*. Los situados en los *trippers*.

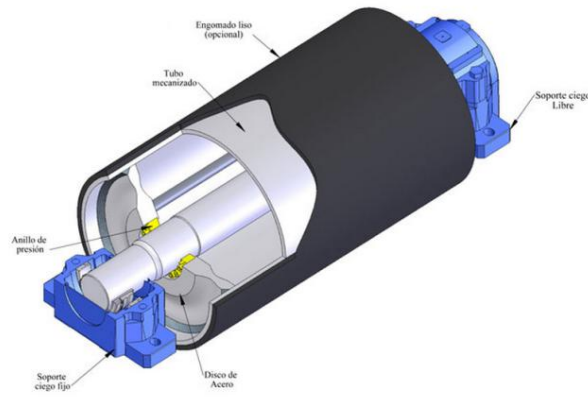


Figura 3.13: Tambores de cola/reenvío [18].

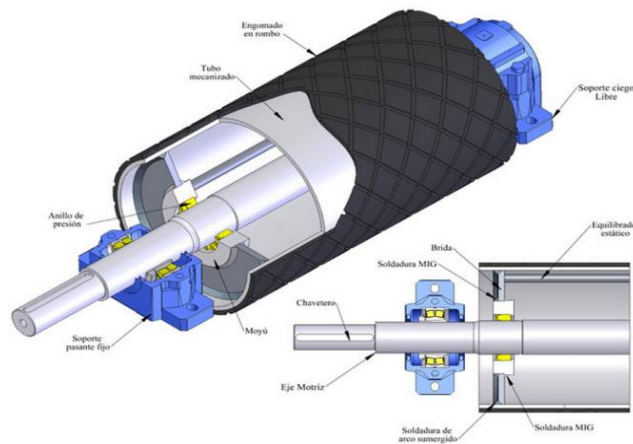


Figura 3.14: Tambor motriz [18].

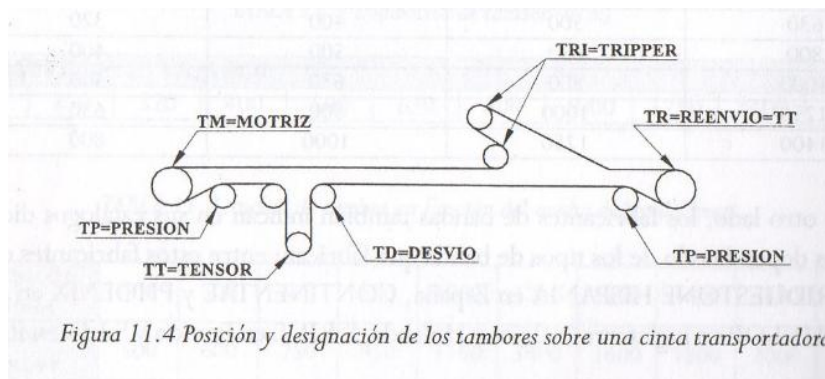


Figura 3.15: Tipos de tambores de una cinta transportadora [1].

3.5.4 Recubrimiento de los tambores

El recubrimiento de los tambores no se efectúa en todos ellos, si no en los que se indican a continuación, y por las siguientes razones:

1. En tambores motrices para aumentar el coeficiente de fricción entre tambor y banda, y por consiguiente aumentar el coeficiente de transmisión inferior.

2. En tambores de presión y desvío, los cuales están en contacto con la cara sucia de la banda, para ayudar en la limpieza de la misma, así como para amortiguar el efecto negativo que puedan ejercer sobre la banda los pequeños trozos de material adheridos a ella.

Respecto a las características de la goma en los tambores motrices, el recubrimiento puede tener la superficie lisa con estrías helicoidales sencillas, o con estrías helicoidales dobles pero de sentido opuesto. El estriado influye en el valor del coeficiente de transmisión inferior, pues su misión consiste en recoger la suciedad fina que se forma en la artesa de la banda cuando se transporta materiales húmedos. Esta suciedad se desborda en el tambor motriz cuando la banda pasa de artesa a plana. Para estos casos la experiencia dice que es más eficaz la cola de pescado que el estriado.

Los espesores de la goma del recubrimiento dependen del diámetro del tambor, y varían desde 8 a 15 mm aproximadamente. La norma DIN 22101, indica otras características de la goma a emplear.

La función de limpieza de los recubrimientos en los tambores no motrices, se usa cuando se transportan materiales que dejan suciedad en la banda, de forma que bajo el efecto de la presión de la banda sobre el tambor, la suciedad queda embebida sobre la misma, y al recuperar la goma del tambor su libertad, la suciedad es en parte expulsada.

3.5.5 Equilibrado

A consecuencia de las imperfecciones propias de la fabricación de la envolvente, existe el riesgo de que el conjunto del tambor, cuando esté totalmente mecanizado, quede desequilibrado. Por ello, es necesario proceder al equilibrado estático del mismo, lo que se logra de una forma sencilla y con suficiente aproximación, apoyando los extremos del eje en dos soportes metálicos con aristas mecanizadas, estando además las mismas niveladas.

En tambores grandes, con velocidades tangenciales elevadas, sería deseable un equilibrado dinámico, lo cual es difícil de efectuar por no existir equilibradoras dinámicas de gran tamaño, por ello basta solo con un buen equilibrado estático.

3.5.6 Mototambores

Una ingeniosa variante de los tambores motrices son los llamados mototambores, los cuales consisten en un tambor motriz convencional en cuyo interior se aloja un motor-reductor. Estos mototambores están normalizados, y su potencia está limitada hasta 22 Kw aproximadamente. (ver Figura 3.16).

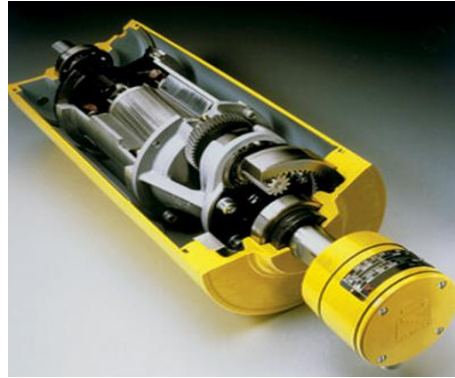


Figura 3.16: Tipos de tambores de una cinta transportadora [5].

3.6 Tensores de la banda

3.6.1 Funciones de los tensores

Sus funciones principales son:

1. Lograr el adecuado contacto entre banda y tambor motriz, para que se efectúe la transmisión de fuerza desde el tambor a la banda, impidiendo el patinaje. Para ello es necesario aplicar una fuerza de valor adecuado en el lado de salida de la banda.
2. Evitar derrames de material en las proximidades de los puntos de carga, motivados por falta de tensión en la banda. Esta insuficiencia de tensión origina las siguientes consecuencias:
 - a. Que la flecha entre dos ternas de rodillos portantes sea excesiva, produciéndose fugas de material entre la banda y faldón de guiado de las zonas de carga, cuando el material es fino y también desbordes en las proximidades de carga, cuando el material es grueso.
 - b. Contacto insuficiente entre banda y rodillos de la terna, sobre todo cuando el ángulo de artesa es grande.
 - c. Que el ramal inferior pueda rozar contra el suelo en las cintas de interior de mina, dada la irregularidad del mismo y la reducida altura de los bastidores de cinta.
3. Compensar las variaciones de longitud producidas en la banda. Estas variaciones son debidas a cambios de tensión en la banda, producidos ya sea por variaciones en el caudal de la cinta o durante el arranque y frenado.

Las funciones secundarias de los dispositivos tensores son:

1. En cintas corrientes, en las que se ha producido un desgarró de la banda, es obligatorio cortar el trozo roto.
2. En cintas de interior de mina, en las cuales concurren circunstancias especiales derivadas de la forma de exploración. En este caso la cinta no tiene una longitud,

sino que esta va aumentando conforme avanza el frente de la mina, en este caso es necesario el empleo de tensores de lazo.

3.6.2 Tipos de tensores

3.6.2.1 Generalidades

Con el objeto de tener una visión clara de las muchas posibilidades de tensado que existen, los tensores pueden clasificarse desde los siguientes aspectos [1].

- ✓ Por su forma constructiva:
 - ✓ De lazo sencillo.
 - ✓ De lazo múltiple.
- ✓ Por la forma de aplicar la fuerza tensora:
 - ✓ Automática.
 - ✓ Fija.
- ✓ Por el equipo mecánico que aplica la fuerza:
 - ✓ Gravedad.
 - ✓ Husillo.
 - ✓ Cabrestante manual fijo.
 - ✓ Cabrestante eléctrico fijo.
 - ✓ Cabrestante eléctrico automático.
- ✓ Por la situación del equipo de tensado:
 - ✓ En cabeza.
 - ✓ En cola.

No todas las posibles combinaciones entre los aspectos o formas anteriores se presenta en la práctica, los más utilizados son el tensor automático y fijo.

Los *tensores de lazo sencillo* son aquellos en los cuales la banda forma un solo lazo, normalmente la mayoría de los tensores son de este tipo, al no existir problemas de espacio para los mismos.

El *tensor automático de gravedad en cabeza*, es el más sencillo y eficaz para bandas de longitudes y capacidades medias, por aplicarse la tensión en forma directa en el punto más adecuado, esto es en las proximidades del tambor motriz. Es el tensor más empleado en cintas inclinadas, por haber suficiente altura entre el tambor motriz y el suelo para la instalación del mismo.

El *tensor automático de gravedad en cola*, se emplean principalmente en cintas de interior de mina, y es la versión más sencilla posible con un contrapeso. Consta simplemente de: Un carro con ruedas sobre el que se monta un tambor de reenvío guiado sobre unos carriles y un cajón para alojar el contrapeso requerido. En caso de ser la cinta horizontal el tensado se realiza mediante un contrapeso vertical. Para estos casos, la fuerza de tensado es constante y el recorrido variable.

El *tensor automático por cabestrante eléctrico*, es una mejora de los sistemas de tensado anteriores, pues solventan el problema del posible patinaje de la banda en el arranque, y la sobrecarga durante el régimen permanente. Además desde el punto de vista del alargamiento, y cuando se emplean bandas EP, el recorrido de tensado es grande, lo cual no es adecuado en citas de gran longitud. Estos sistemas se pueden montar tanto en cola como en cabeza. Su funcionamiento consiste en tensar o destensar el tambor por medio del cabestrante, dependiendo de la situación en la que se encuentre la banda. En caso de estar en reposo, el cabestrante se tensa a un valor suficiente para que la banda esté ligeramente tensada, y en el arranque, el cabestrante se tensa al valor correspondiente para este estado de funcionamiento. Cuando se termina el arranque, el cabestrante se destensa hasta la tensión que corresponde al régimen permanente de funcionamiento.

En el *tensor fijo de husillo*, la tensión entre tambor motriz y de reenvío es invariable durante el funcionamiento de la cinta. El régimen de tensiones en la cinta durante el arranque y el frenado, es distinto del que se produce en las cintas con tensor automático de gravedad, siendo el cálculo de las referidas tensiones complicado. Este tipo de tensado se lleva a cabo en cintas de poca longitud y pequeña capacidad.

El *tensor fijo de cabestrante* realiza las mismas funciones que el husillo, muy empleado en la minería subterránea del carbón de Inglaterra y España. Mediante este sistema es posible el control por igual de las tensiones en los dos cabestrantes mediante una ingeniosa disposición del mecanismo de tensado. También es posible intercalar dinamómetros para la medida de la tensión aplicada.

Los *tensores de lazo múltiple*, son aquellos en los cuales la banda forma varios lazos, motivado por la falta de espacio en las cintas transportadoras, utilizadas en la minería subterránea del carbón, que obliga a almacenar mucha banda en poca longitud de bastidor.

Los *tensores de lazo múltiple con cabestrante automático*, son muy poco empleados y por tanto no se describen en este Proyecto.

3.7 Bastidores

Son los bastidores los componentes más sencillos de las cintas, y su función es obviamente, la de soportar las cargas de material, banda, rodillos y las posibles cubiertas de protección contra el viento, entre el punto de alimentación y el de descarga del material. Se compone de los rodillos, ramales superiores e inferior y de la propia estructura soporte (ver Figura 3.17).

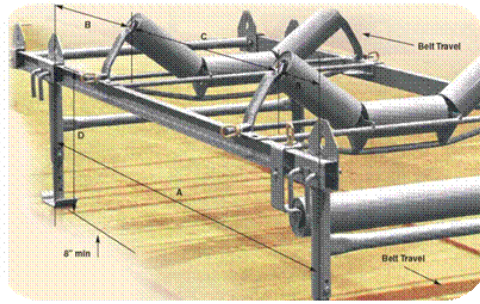


Figura 3.17: Bastidor formado por dos largueros [19].

3.7.1 Clasificación de los bastidores

Pueden clasificarse en los tipos que a continuación se detallan (ver Figura 3.18):

- ✓ *Bastidor formado por 2 largueros metálicos:* Generalmente son perfiles de acero laminado en U. Estos perfiles se apoyan en soportes que acostumbran ser del mismo perfil que los largueros, siendo la unión entre ambos rígida. Esta disposición constructiva es la más corriente, siendo la más adecuada para el montaje de soportes de rodillos, empleada en cintas de gran anchura de banda.
- ✓ *Bastidor tubular:* Formado por tubos cuadrados o redondos, que se apoyan en soportes construidos también por tubos o por perfiles laminados.
- ✓ *Bastidor colgante:* Formado por cables de acero que se tensan entre patas convencionales.
- ✓ *Bastidor autoresistente:* Destinado a salvar vanos de hasta 30 metros aproximadamente, constituidos por una estructura de celosía, con uno o dos pasillos, siendo la propia celosía el bastidor.



Figura 3.18: Bastidores tubulares [19].

3.8 Carga y descarga

La carga y descarga de las cintas son dos operaciones a las cuales no se les concede la debida importancia, pese a que de ellas depende que el material a transportar inicie adecuadamente su recorrido a través de la instalación.

3.8.1 La carga inicial sobre una cinta

La carga inicial de un circuito de transporte formado por cintas transportadoras, se realiza en general, mediante alimentadores-extractores situados bajo una tolva. Estos tipos de carga no suele originar problemas, por ser pequeña la velocidad del material a la salida de los alimentadores.

3.8.2 La descarga de una cinta sobre otras cintas

Este es el caso más corriente en el diseño de las cintas transportadoras. Estas transferencias dan origen a problemas de tipo práctico en lo que se refiere a trayectorias del material, disposición geométrica de las diversas tolvas, elección de inclinación, amortiguamiento de los impactos del material y empleo de materiales adecuados para resistir la abrasión producida por el material.

3.8.3 Descarga final de una cinta sobre una pila cónica, sobre un parque de materiales longitudinal, o sobre una tolva

La descarga sobre una pila cónica, al efectuarse por descarga libre, no presenta en general problemas, salvo la posible degradación del material y la producción de polvo. En el caso de descarga para la formación de parques o sobre tolvas longitudinales, el vertido se realiza mediante carros descargadores *Trippers*, los cuales están dotados de tolvas con doble salida.

3.9 Equipos de limpieza

3.9.1 Generalidades e importancia

La limpieza en las cintas transportadoras, aun siendo un problema de gran importancia económica durante el funcionamiento de las mismas, sigue sin resolverse totalmente. Es curioso que los equipos de limpieza, siendo de poco coste comparados con el total de la cinta, se prescindan a veces de su utilización, cuando con una buena limpieza se obtienen ahorros importantes, pero hay que reconocer la dificultad en conseguir una buena limpieza en las cintas que transportan cierto tipo de materiales.

3.9.2 Fugitividad y ensuciamiento

Puede definirse la fugitividad, como la tendencia del material a escaparse de la vena principal. El ensuciamiento es una consecuencia de la fugitividad; a mayor fugitividad, más ensuciamiento.

La fugitividad se produce, desde el punto de vista del material, por dos estados opuestos del mismo; por ser polvoriento o por ser pegajoso. Los lugares donde se produce la misma son aquellos en los que cambia la dirección del flujo o vena del material, esto es en elementos como tolvas y guías de carga.

3.9.3 La incidencia económica de la mala limpieza

Tiene tres aspectos importantes a destacar:

1. La pérdida de capacidad transportadora, cuyo valor es en general reducido.
2. Coste de la mano de obra empleada en la limpieza del material fugitivo, depositado en bastidores y suelo, mantenimiento de los equipos de limpieza y atención al desvío de bandas.
3. En cintas de gran capacidad, y cuando se ha visto la imposibilidad de la limpieza de la banda en el ramal inferior, se instalan debajo de este y en las proximidades de la cabeza motriz, transportadores especiales de corta longitud, que recorren el material desprendido y lo incorpora a la vena principal.

3.9.3.1 Recomendación para lograr una limpieza eficaz

Los remedios al ensuciamiento deben comenzar en la fase de diseño, debiendo poner atención a los puntos de producción de material fugitivo. El tiempo dedicado a la buena solución de este problema, está más que compensado por los ahorros obtenidos posteriormente.

Durante el funcionamiento de la cinta, debe existir un mantenimiento eficaz, llevando un control de los problemas encontrados en los puntos en que se produce el material fugitivo, para solucionarlos de forma inmediata. Ello reducirá también los riesgos de accidente en el personal de limpieza.

3.9.4 Tipos de rascadores

A continuación se describen los rascadores que actúan sobre el tambor motriz:

- ✓ *Rascador pendular de contrapeso, con tiras de goma:* Es el más popular, pero su eficacia es limitada. Se emplea en cintas sencillas sin grandes exigencias de limpieza. Está constituido por unas partes metálicas que soportan las tiras o tacos de goma (ver Figura 3.19).
- ✓ *Rascador principal con láminas de rascado independientes y tensión por brazo de torsión:* Aplican el principio de la espátula. Este rascador es mucho más eficaz que el anterior, pero si el material es muy pegajoso no se eliminarán totalmente, limitando mucho su eficacia. Se soluciona instalando un rascador previo.
- ✓ *Rascador previo:* Situado antes del principal, con tacos gruesos de goma como elementos de rascado y forma constructiva similar al anterior. Se emplea cuando el material es pegajoso y de limpieza difícil. El mayor problema con estos rascadores es la reposición de los elementos limpiadores cuando estos se han desgastado, por la dificultad de acceso a los mismos.

Los rascadores que actuando sobre los demás tambores, son rascadores con importancia secundaria (ver Figura 3.20).

- ✓ *Rascador en V con tiras de goma:* Impide que el material fugitivo, situado sobre la cara interna de la banda en el ramal inferior, penetre entre las láminas y el tambor de reenvío.
- ✓ *Rascadores fijos en diagonal.* Consiste en una pletina o placa metálica que se sitúa próxima a la periferia de los tambores de desvío, para impedir la entrada del material pegado a la banda.
- ✓ *Sistemas de limpieza modernos.* El avance tecnológico ha permitido el uso de equipos muy modernos los cuales realizan sus tareas de una manera eficiente (ver Figura 3.21).

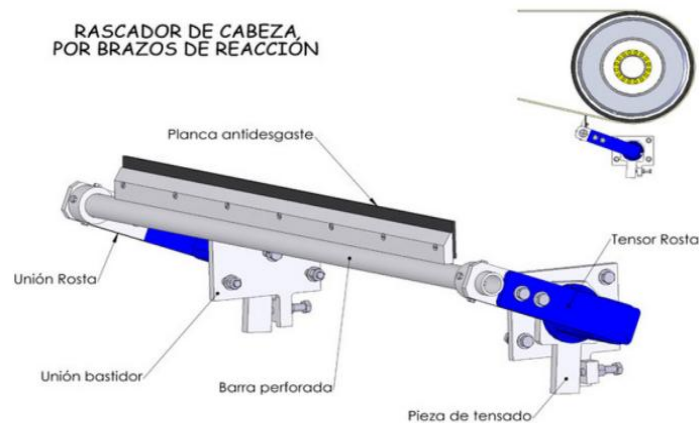


Figura 3.19: Rascador primario de cabeza [18].



Figura 3.20: Rascador secundario [18].

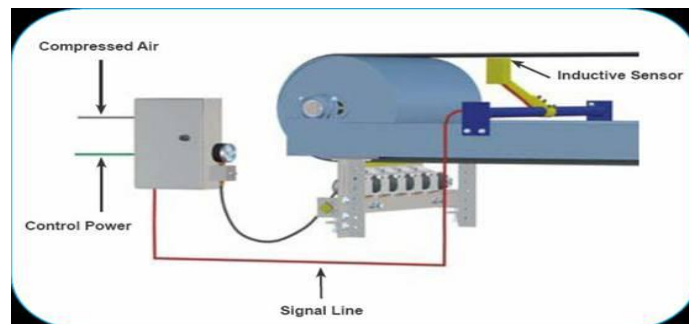


Figura 3.21: Sistema de limpieza automatizado [19].

3.10 Grupos motrices

3.10.1 Generalidades

El grupo motriz de una banda transportadora es uno de los componentes más importantes de la misma. De la adecuada elección de los elementos que la forman, depende la seguridad de funcionamiento y la vida de la banda. La forma en la que se efectúa el arranque, influye en la vida y comportamiento de los componentes del grupo motriz, y así mismo en la vida de la banda, tambores y rodillos. También afecta al comportamiento de la banda en las curvas verticales, recorrido de los tambores tensores y a la pérdida de fricción en el tambor motriz.

Los componentes del grupo motriz, señalados en el orden de entrada a salida del movimiento son:

- ✓ *Motor eléctrico.*
- ✓ *Acoplamiento de alta velocidad, puede ser elástico o fluido.*
- ✓ *Acoplamiento de baja velocidad.*
- ✓ *Dispositivo anti-retorno.*
- ✓ *Freno.*

El motor, el reductor y el freno, están unidos a una bancada. En motores de potencias pequeñas, el motor y el reductor forman una sola unidad, suprimiéndose así la bancada (ver Figura 3.22).



Figura 3.22: Grupo motriz, reductor clásico [15].

3.10.2 Motores eléctricos

3.10.2.1 Potencia

La primera condición al elegir un motor, es que la potencia del mismo sea al menos igual a la potencia requerida en el eje de salida del reductor, dividida entre el rendimiento del mismo. En los casos en que existen posibilidades de sobrecarga de larga duración o no se tenga seguridad en el valor de la potencia calculada, hay que multiplicar ésta por un factor de servicio, con el fin de tener en cuenta estas circunstancias. En potencias grandes, en las que el paso de un tamaño de motor al inmediato supone un incremento importante del coste, debe tenerse muy en cuenta la elección del factor de servicio adecuado.

Desde el punto de vista del arranque, la elección de un motor sobredimensionado no es buena, al existir pares de arranque elevados y por tanto grandes aceleraciones si el arranque se efectúa de forma directa. Las potencias indicadas en la placa de características de los motores, son las disponibles en el eje de los mismo, para un trabajo continuo y manteniendo una temperatura estable.

3.10.2.2 Tipos de motores

Los empleados en cintas transportadoras, generalmente son:

- ✓ De corriente alterna:
 - ✓ De *jaula de ardilla*, que es el más empleado.
 - ✓ De *rotor bobinado*.
- ✓ De corriente continua, mucho menos empleado.

El tamaño de carcasa designa la distancia expresada en *mm*, entre el eje del motor y la base de asiento del mismo. La norma HD 231 de CENELEC, indica cual es la correspondencia entre los tamaños de motores de 4 polos (1500 rpm), y las potencias de los mismos expresados en *Kw*. A continuación en la *Tabla 3.8* se expone la relación entre la potencia y el tamaño de la carcasa.

Tabla 3.8: Tamaño de las carcasa / Potencia del motor. Norma HD 213.

Tamaño carcasa [mm]	112 M	132 S	132 M	160 M	160 L	180 M	180 L	200 L	225 S	225 M	250 M	280 S
Potencia [Kw]	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75
Tamaño carcasa [mm]	280 M	315 S	315 M	315 L	315 L	315	315	355	355	355	400	400
Potencia [Kw]	90	110	132	160	200	250	315	355	400	500	560	630

3.10.2.3 Tensiones y frecuencias

En corriente alterna, las tensiones normales nominales a las que pueden conectarse son:

- ✓ 220 V / 380 V, 380 V / 660 V.
- ✓ 230 V / 400 V, 400 V / 690 V.

La frecuencia en España es de 50 Hz.

3.10.2.4 Velocidades

La velocidad nominal de los motores empleados en las cintas es generalmente de 1500 r.p.m. (motores de 4 polos), funcionando en vacío. Cuando funcionan a su potencia

nominal, la velocidad se reduce de acuerdo con la curva par – velocidad. Esta reducción se expresa en tanto por ciento de la nominal, y es del orden del 2 % para la potencia nominal.

3.10.2.5 Temperaturas

La temperatura normal de funcionamiento es de 40°, para alturas sobre el nivel del mar de hasta 1000 m. Para alturas superiores, la potencia se reduce según indica la *Tabla 3.9*.

Tabla 3.9: Potencia en función de la altura sobre el nivel del mar.

Altitud (h) sobre el nivel del mar (m).	$h \leq 1000$	$1000 \leq h \leq 2000$	$2000 \leq h \leq 3000$	$3000 \leq h \leq 4000$	$4000 \leq h \leq 5000$
Potencia en % de la nominal.	100	95	90	85	80

3.10.2.6 Curva par-velocidad

Para el cálculo de las aceleraciones y por tanto de los tiempos de arranque, es necesario conocer la forma de la curva par-velocidad. La siguiente *Figura* muestra la curva típica con la designación de los diversos pares e intensidades en función de las velocidades (*ver Figura 3.23*).

Pares del motor

- ✓ T par en general.
- ✓ T_{MD} Par del motor con arranque directo a la red. (Conexión en triángulo).
- ✓ T_{MV} Par del motor con arranque estrella-triángulo.
- ✓ T_N Par nominal del motor. (Correspondiente al 100% de la carga).
- ✓ T_S Par de arranque con rotor bloqueado.
- ✓ T_{min} . Par mínimo.
- ✓ $T_{máx}$. Par máximo.

Todos los pares están expresados en % del par nominal.

Intensidades

- ✓ I Intensidad en general.
- ✓ I_D Intensidad en arranque directo (Conexión triángulo).
- ✓ I_V Intensidad en arranque estrella-triángulo.
- ✓ I_N Intensidad Nominal.

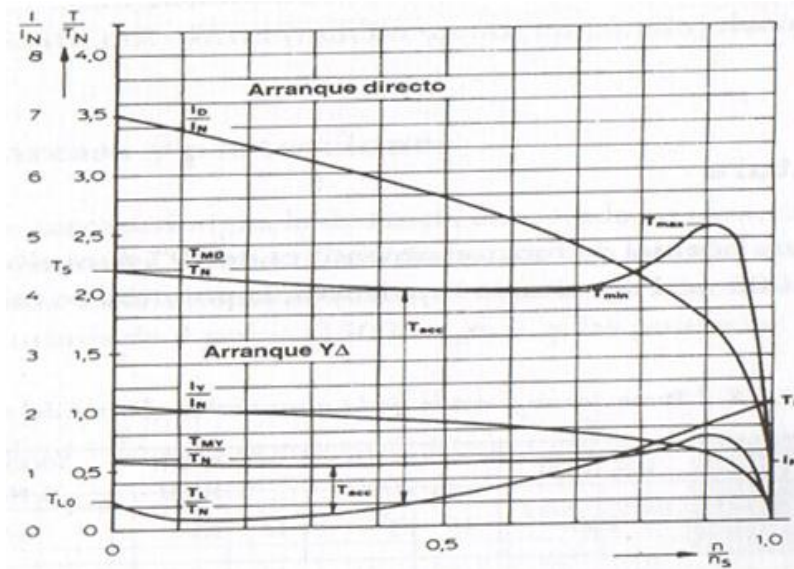


Figura 3.23: Curvas par-velocidad e intensidad-velocidad [1].

Una de las condiciones a cumplir por el motor, es que el par mínimo a velocidad cero, sea superior al par resistente de la cinta cuando está cargada. Este par resistente depende de diversos factores tales como la temperatura en el momento del arranque, del tiempo que haya estado parada la cinta y del tipo de banda.

3.10.2.7 Características principales de los motores de corriente alterna [1].

En este apartado, se determinan las características más destacadas de los motores de corriente alterna junto con sus diferencias.

Los *motores de jaula de ardilla* pueden considerarse de velocidad constante, siendo sus características más destacada las siguientes:

- ✓ La curva par-velocidad no es la más adecuada para el arranque de las cintas.
- ✓ En la franja de trabajo entre el par máximo y el par 0, la curva par – velocidad es prácticamente lineal.
- ✓ No hay posibilidad de controlar el par.
- ✓ El número de arranques está limitado por el calentamiento del motor
- ✓ Requiere poco mantenimiento.
- ✓ Son baratos.
- ✓ Son adecuados también para su empleo en cintas descendentes funcionando como generador.

Los *motores de rotor bobinado*, al igual que en los de jaula de ardilla, también pueden considerarse de velocidad constante, y sus principales propiedades son:

- ✓ En la franja de trabajo, la variación del par es también prácticamente lineal.
- ✓ Es posible controlar el par en el arranque mediante resistencia rotóricas.

- ✓ El número de arranques puede ser más elevado que en los de jaula de ardilla, a consecuencia del menor calentamiento.
- ✓ Requieren más mantenimiento que los de jaula de ardilla y son más caros que estos.
- ✓ Son adecuados también para su empleo en cintas descendentes.

3.11 Acoplamientos

3.11.1 Acoplamientos de alta velocidad

Son dispositivos que transmiten el par desde el motor eléctrico al reductor de velocidad. Para su empleo en las cintas transportadoras, existen dos tipos de acoplamiento principal.

- ✓ Los elásticos.
- ✓ Los fluidos o hidráulicos.

3.11.1.1 Acoplamientos elásticos

Están constituidos por dos platillos metálicos enlazados por un elemento elástico, estando cada platillo unido a los ejes de motor o del reductor. El elemento elástico puede ser de goma o un muelle metálico. La función de este elemento además de transmitir el par, es la de amortiguar los golpes producidos durante el arranque y absorber las faltas de alimentación entre los ejes de motor y reductor.

Existen multitud de disposiciones constructivas, las más destacadas son los acoplamientos elásticos con gomas y los acoplamientos elásticos de láminas flexibles.

Al ser los acoplamientos unos componentes sencillos y puramente comerciales, no requiere cálculo especial alguno por el fabricante de cintas transportadoras; la elección de los mismo se efectúa empleando los catálogos de los fabricantes. Para dicha elección, estos indican que los pares a transmitir deben multiplicarse por un factor de servicio comprendido entre 1.5 y 2.

3.11.1.2 Acoplamientos fluidos

Se montan, al igual que los elásticos, enlazando los ejes de motor y reductor, siendo su función la de efectuar un arranque progresivo de la cinta, eliminando el impacto que se produce cuando se montan acoplamientos elásticos. Existen dos tipos de acoplamientos fluidos: *De llenado fijo* y *de llenado variable*.

3.11.2 Acoplamiento de baja velocidad

Son aquellos que transmiten el par desde el eje de salida del reductor al tambor motriz de la cinta, existiendo principalmente dos tipos:

- ✓ El elástico.

- ✓ El de dientes arqueados.

3.11.2.1 Acoplamiento de baja velocidad elástico

En este caso, el acoplamiento elástico con gomas está formado por cilindros de goma dura, alojados en los agujeros de los platillos, mientras que el acoplamiento de láminas flexibles se logra mediante el empleo de una lámina de acero curvada. Estos dos tipos de acoplamientos no son capaces de transmitir grandes pares.

3.11.2.2 Acoplamiento de baja velocidad de dientes arqueados

Está formado por dos semi-platos, dentados exteriormente, engrandados mediante una corno dentada con dentado interior. El dentado exterior de los semi-platos, tiene sus dientes arqueados, lo cual permite cierta desalineación entre los referidos semi-platos, pudiendo transmitir grandes pares.

3.12 Reductores de velocidad

3.12.1 Generalidades.

Se emplean dos tipos de reductores en las cintas de gran potencia:

- ✓ *Reductores Suspendidos:* Son de montaje flotante. Esta disposición presenta la ventaja de precisar un espacio reducido, suprimiendo la alineación entre el tambor y reductor, el inconveniente es el de tener que desmontar el conjunto cuando se tiene que sustituir el tambor.
- ✓ *Reductores Clásicos:* Estos reductores son utilizados en las instalaciones grandes.

3.13 Frenos y mecanismos antiretorno.

3.13.1 Generalidades.

Los frenos más utilizados son los de disco, situados en el eje del reductor. En algunos casos, generalmente en cintas descendentes, se montan en el eje del tambor.

En las cintas con cierta pendiente, además del freno se dispone de un sistema de antiretorno. Su función consiste en retener la carga en las cintas inclinadas ascendentes. Estos sistemas antiretorno actúa como un elemento de seguridad. En las grandes cintas horizontales el frenado en cabeza puede ser insuficiente, por lo que una solución adoptada consiste en colocar un freno de disco sobre el tambor de retorno.



CAPITULO 4

MatLab y GUIDE

4.1 Introducción a MatLab

MatLab (*Matrix Laboratory*). Es un potente software matemático de programación, capaz de realizar cálculos numéricos de vectores y matrices, además permite trabajar con números complejos, reales y cadenas de caracteres, así como estructuras de información más complejas. También es capaz de realizar gráficos en 2D y 3D. Posee un lenguaje de programación propio. Se puede decir que es una herramienta muy avanzada para el cálculo científico técnico.

Para ciertas operaciones es un programa muy rápido, cuando puede ejecutar sus funciones en código nativo. En otras aplicaciones resulta bastante más lento que el código equivalente desarrollado en *C/C++* o *Fortran*. Aunque en últimas versiones incorpora mejores aceleradores *JIT* (*Just in time*), lo que mejora la velocidad de cálculo y de llamadas a ficheros.

MatLab dispone de un código básico y de varias librerías especializadas (*toolboxes*). Existe una gran cantidad de librerías diferentes que utiliza *MatLab* para cubrir todos los campos científicos.

Para el desarrollo del proyecto, se ha profundizado solamente en la capacidad de cálculo del entorno de programación gráfico de *MatLab*, llamado *GUIDE* (*Graphical User Interface*). Mediante la cual se ha generado una serie de ventanas intuitivas y simples, para el diseño de una banda transportadora.

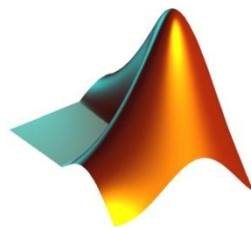


Figura 4.1: Logotipo *MatLab* [24].

4.2 Entorno de trabajo de MatLab

Al arrancar *MatLab*, se abre una ventana como la mostrada en la Figura 4.2, o similar, ya que la configuración inicial según la versión puede cambiar, aun así esta configuración se puede obtener eligiendo las opciones *Desktop*, *Layout/Default*, dentro del menú *View*. Respecto a esta ventana inicial, se puede ver que es bastante simple e intuitiva, facilitando así su uso.

Como se indica en la introducción a este capítulo, *MatLab* dispone de utilidades como el entorno gráfico *GUI* (simplificación de *GUIDE*), mediante el cual se pueden desarrollar ventanas gráficas fáciles y rápidas de implementar. Otra herramienta a destacar por parte de este programa es *Simulink*, tratándose de una herramienta de simulación y diseño basada en modelos de sistemas dinámicos que proporcionan un

entorno gráfico interactivo capaz de simular gran variedad de sistemas que dependen del tiempo, pudiendo así configurar el tipo de control y procesamiento de señales, junto a imágenes y simulaciones dinámicas.

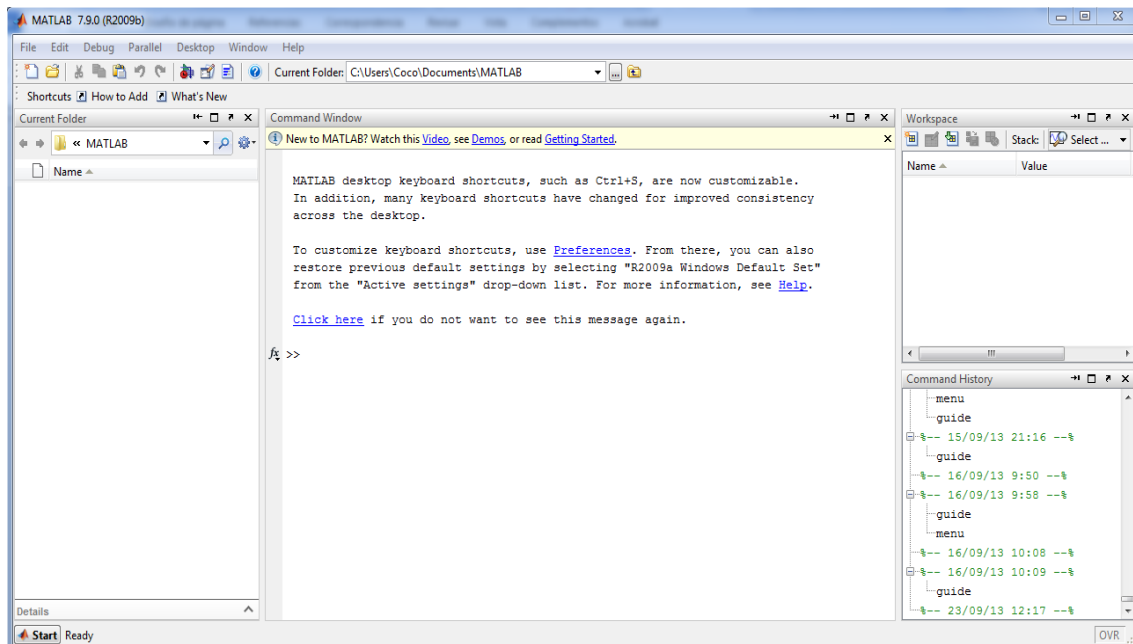


Figura 4.2: Ventana principal de *MatLab*.

4.2.1 Menús de Matlab

MatLab consiste en un entorno de ventanas con cuatro partes [24]:

- ✓ *Command Window*: Es la ventana en la que se escriben las instrucciones que se quieren ejecutar, como operaciones matemáticas o llamadas de funciones o archivos .m.
- ✓ *Current Directory*: Muestra el contenido de la carpeta de trabajo. La dirección de la carpeta de trabajo se puede cambiar mediante la barra desplegable que aparece encima de las ventanas de trabajo, *Current Folder*.
- ✓ *Workspace*: Muestra información sobre las variables y objetos definidos a lo largo del desarrollo del programa. En este menú se pueden consultar los valores de las variables y sus características como tamaño o tipo de variable.
- ✓ *Command History*: Esta ventana muestra los últimos comandos ejecutados.

En la línea superior de la ventana de comandos se encuentra la barra de menús.

Los menús *File* y *Edit*., son los menús habituales que aparecen en cualquier programa en entorno *Windows*, donde se puede acceder a las preferencias de *MatLab*, y establecer sus propiedades, crear elementos nuevos como archivos m-file, gui, .figure, etc. Además permite guardar y abrir archivos, importar datos de otros programas y salir del propio programa de *MatLab*.

El menú *Edit*, admite rehacer y deshacer acciones, borrar el historial cortar/copiar y pegar. etc.

Los menús *Desktop* y *Windows*, permiten configurar el aspecto del entorno de trabajo, es decir modificar la apariencia de las ventanas según preferencias del usuario, acceder al editor de *Figuras* y variables, y mostrar la barra de herramientas.

El menú *Debug*, es de gran utilidad la hora de programar en *MatLab*, ya que da la opción de configurar acciones que dependen de la programación, como por ejemplo, "el programa se detiene cuando se da un error".

El menú *Help*, muestra la ayuda de las diferentes funciones del programa. En concreto, este menú, es muy útil por la información que ofrece. Cuando se solicita a *MatLab* ayuda sobre una función o variable, devolverá la información relativa a dicha función junto con ejemplos de aplicaciones habituales y las posibles variables que pueden incluirse a la hora de utilizarse. Para obtener ayuda sobre una orden interna de *MatLab*, se debe acceder a través de esta barra de menú o escribiendo la siguiente orden en la ventana de comandos: "*help*", seguido del nombre de la instrucción concreta. A modo de ejemplo a continuación se detalla la ayuda para el parámetro "*sin*".

```
>> help sin
SIN    Sine of argument in radians.
      SIN(X) is the sine of the elements of X.
      See also asin, sind.
      Overloaded methods:
          codistributed/sin
      Reference page in Help browser
      doc sin
>>
```

4.2.2 Principales funciones y operaciones de MatLab

A continuación se presenta una pequeña introducción al lenguaje de programación de *MatLab*, asignando a las variables determinados valores, así como la creación de vectores o matrices. También se mostrará la simbología necesaria para llevar a cabo estas operaciones. Es importante destacar, que *MatLab* no necesita la declaración inicial variable, aunque siempre es recomendable para reducir los tiempos de espera del propio programa.

4.2.2.1 Vectores y matrices

Las operaciones más comunes que se realizan con vectores y matrices, consisten en determinar el valor de una posición indicada, y acceder a los valores de la misma. A continuación se pueden ver varios ejemplos:

Declaración del vector (directamente o componente a componente), mediante un vector fila.



```
>> x=[1 2 3 4 5]
x = 1 2 3 4 5
>>
```

Otras formas de declarar un vector componente a componente es mediante un vector columna, esto es añadiendo tras cada número ";"

```
>> v=[1; 2; 3]
```

También cabe la posibilidad de relacionar la posición de un vector con variables, creando vector fila "x" del siguiente modo:

```
>> a = 1; b = 2; c = 3;
>> x = [a b c] → v = [1 2 3]
```

Para obtener un vector "x" cuyo valor de la posición "i" sea "p" la orden será la siguiente:

```
>> x(i) = p
```

Acceder al elemento "i" del vector "x" y guardar su valor en otra variable "q".

```
>> q = x(i)
```

Una matriz está formada por vectores, con lo cual para declararlo será muy parecido a lo visto anteriormente. *MatLab* trabaja esencialmente con matrices numéricas rectangulares. La manera más fácil de entrar matrices pequeñas es enumerando los elementos de ésta de tal manera que:

- ✓ Los elementos estén separados por espacios en blanco o comas.
- ✓ Los elementos estén cerrados entre corchetes, [].
- ✓ El final de cada fila de la matriz, con ; (punto y coma).

```
>> A = [ 1 2 3; 4 5 6; 7 8 9 ]
```

```
A =
1 2 3
4 5 6
7 8 9
```

MatLab guarda esta matriz para utilizarla luego bajo el nombre de "A". Si la matriz a introducir es muy grande se puede utilizar el siguiente formato:

```
>> A=[1 2 3
4 5 6
7 8 9]
```

Para acceder a un determinado elemento de una fila y columna determinada, se realiza de la siguiente forma:

```
>> elemento = A(2,1)
elemento = 4
```

Si se tiene una matriz "A" y una "B", su producto, división, suma y resta serán:

```
>> C = A*B;           >> C = A+B;           >> C = A-B;
```

Igualmente su producto y división componente a componente será:

```
>> C = A.*B;          >> C = A./B
```

Siguiendo estos patrones, el programa permite realizar otras operaciones útiles para la obtención de características de determinados elementos. A continuación, se expondrán algunos de ellos:

- ✓ *rand(i,j)* → Devuelve una matriz aleatoria de filas "i" y columnas "j".
- ✓ *ones(i,j)* → Devuelve una matriz de unos de filas "i" y columnas "j".
- ✓ *zeros(i,j)* → Devuelve una matriz de ceros de filas "i" y columnas "j".
- ✓ *eye(i,j)* → Devuelve una matriz de "i x j" de ceros con unos en la diagonal.
- ✓ *inv(i)* → Devuelve la inversa del elemento "i".
- ✓ *isinteger(a)* → Devuelve un 1 si la variable "a" es entera.
- ✓ *Isnan(a)* → Verifica si "a" es numérico.
- ✓ *isempty(a)* → Verifica si la variable "a" está vacía.
- ✓ *exist(a)* → Idem que "isempty".
- ✓ *clear a* → Elimina la variable "a".
- ✓ *clearall* → Elimina todas las variables.

Algunos operadores lógicos, de los más comunes, son los siguientes:

- | | | | | |
|---|----------|---|----|--------------------------------------|
| ✓ | < | / | > | menor / mayor que. |
| ✓ | <= | / | >= | menor o igual / mayor o igual que. |
| ✓ | == | / | ~= | igual / distinto que. |
| ✓ | & | / | && | operador lógico "and" / "and breve". |
| ✓ | | / | | operador lógico "or" / "or breve". |
| ✓ | ~ | | | operador lógico "not". |
| ✓ | xor(A,B) | | | operador lógico "or exclusivo". |

4.2.2.2 Funciones matemáticas elementales que operan de modo escalar

Estas funciones, que comprenden las funciones matemáticas trascendentales y otras funciones básicas, cuando se aplican a una matriz actúan sobre cada elemento de la matriz como si se tratase de un escalar. Por tanto, se aplican de la misma forma a escalares, vectores y matrices. Algunas de las funciones de este grupo son las siguientes:

- ✓ *sin(x)* → seno.
- ✓ *cos(x)* → coseno.

- ✓ $\tan(x) \rightarrow$ tangente.
- ✓ $\text{asin}(x) \rightarrow$ arco seno.
- ✓ $\text{acos}(x) \rightarrow$ arco coseno.
- ✓ $\text{atan}(x) \rightarrow$ arco tangente.
- ✓ $\sinh(x) \rightarrow$ seno hiperbólico.
- ✓ $\cosh(x) \rightarrow$ coseno hiperbólico.
- ✓ $\tanh(x) \rightarrow$ tangente hiperbólica.
- ✓ $\text{asinh}(x) \rightarrow$ arco seno hiperbólico.
- ✓ $\text{acosh}(x) \rightarrow$ arco coseno hiperbólico.
- ✓ $\text{atanh}(x) \rightarrow$ arco tangente hiperbólica.
- ✓ $\log(x) \rightarrow$ logaritmo natural.
- ✓ $\log_{10}(x) \rightarrow$ logaritmo decimal.
- ✓ $\exp(x) \rightarrow$ función exponencial.
- ✓ $\text{sqrt}(x) \rightarrow$ raíz cuadrada.
- ✓ $\text{round}(x) \rightarrow$ redondeo hacia el entero más próximo.
- ✓ $\text{fix}(x) \rightarrow$ redondea hacia el entero más próximo a 0.
- ✓ $\text{floor}(x) \rightarrow$ valor entero más próximo hacia $-\infty$.
- ✓ $\text{ceil}(x) \rightarrow$ valor entero más próximo hacia $+\infty$.
- ✓ $\text{abs}(x) \rightarrow$ valores absolutos.
- ✓ $\text{angle}(x) \rightarrow$ ángulos de fase.

4.2.3 Programación con MatLab, bucles

MatLab posee un lenguaje de programación que, como cualquier otro lenguaje, dispone de sentencias para realizar *bifurcaciones* y *bucles*. Las bifurcaciones permiten realizar una u otra operación según se cumpla o no una determinada condición. Los bucles, en cambio, permiten repetir las mismas operaciones sobre datos distintos hasta que se cumple o no una condición. En las Figuras 4.3 y 4.4 se muestran ejemplos de las bifurcaciones y verificación de bucles, respectivamente, que posee *MatLab* [24].

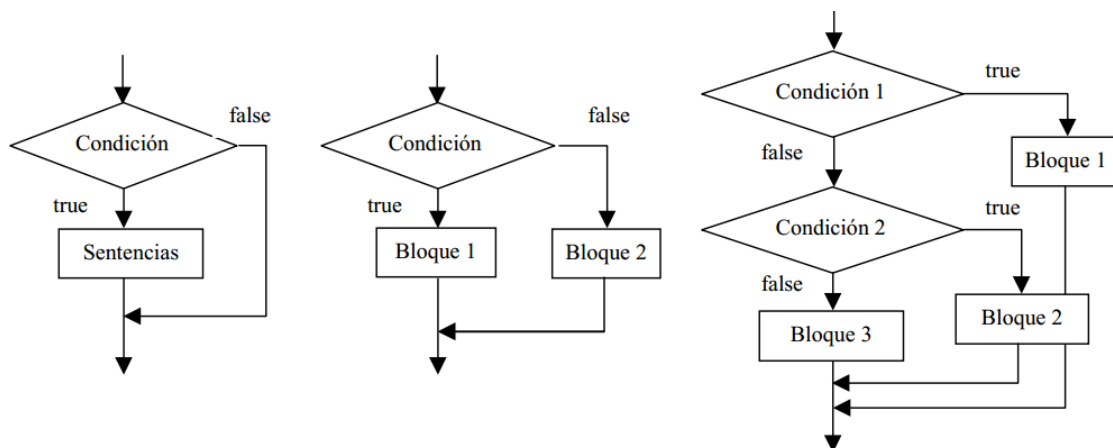


Figura 4.3: Ejemplos gráficos de bifurcaciones [24].

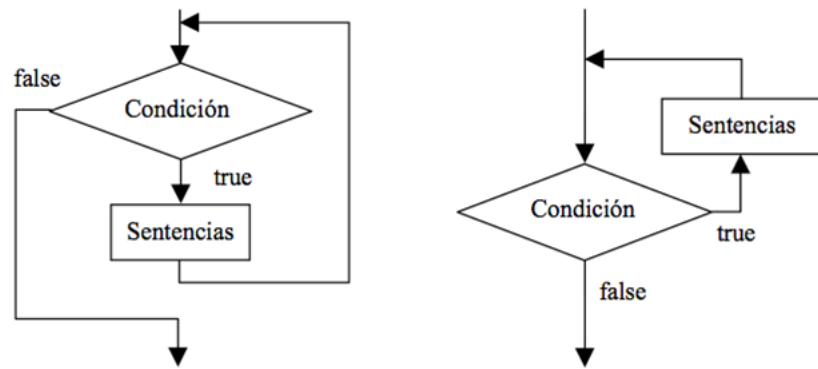


Figura 4.4: Ejemplos gráficos de bucles [24].

A continuación se desarrollan las sentencias y bucles más usados a la hora de desarrollar el programa de cintas transportadoras.

Sentencia IF

La forma más simple de escribir la sentencia "if", es la mostrada a continuación, aunque también se puede escribir la "condicion 1" entre paréntesis como es el caso de C/C++/Java.

```
If condicion 1
    Bloque
end
```

Existe también la posibilidad de bifurcación múltiple, en la que pueden concatenarse tantas condiciones como se desee. *MatLab*, irá comprobando cada parte de la sentencia hasta que se cumpla la condición, en ese momento se ejecutará el bloque X y terminará la sentencia.

```
if condicion 1
    bloque 1
elseif condicion 2
    bloque 2
elseif condicion 3
    bloque 3
else
    bloque 4
end
```

La opción por defecto "else" puede ser omitida, si no está presente no se hace nada en caso de que no se cumpla ninguna de las condiciones que se han chequeado.

Sentencia SWITCH

La sentencia "switch" realiza una función análoga a un conjunto de "if"... "elseif " concatenados. Su forma general es la siguiente:

```
switch_expresion
    case case_expr1,
        bloque1
    case {case_expr2, case_expr3, case_expr4,...}
        bloque2
    ...
    otherwise, % opción por defecto
        bloque3
end
```

Al principio se evalúa la "switch_expresion", cuyo resultado debe ser un número escalar o una cadena de caracteres. Este resultado se compara con las "case", y se ejecuta el bloque de sentencias que corresponda con ese resultado. Si ninguno es igual a "switch_expresionse" ejecutan las sentencias correspondientes a "otherwise".

Sentencia FOR

La sentencia "for" repite un conjunto de sentencias un número predeterminado de veces. En el siguiente ejemplo se puede ver como el valor i va desde 1 hasta n , con un paso de una unidad.

```
for i=1:n
    sentencias
end
```

También se puede variar el paso mediante el caso siguiente, de forma que el bucle se ejecuta por primera vez con $i = 1$, hasta n , con un paso de 2.

```
for i=1:2:n
    sentencias
end
```

Del mismo modo se puede introducir un bucle "for" dentro de otro, de forma que por cada paso del principal, el secundario realizará los ciclos correspondientes (por cada valor de i , j toma todos sus valores).

```
for i=1:m
    for j=1:n
        sentencias
    end
end
```

Sentencia WHILE

La sentencia "*while*" se ejecutará mientras que se dé la condiciones establecida. Su sintaxis es la siguiente:

```
while condición
    sentencias
end
```

Sentencia BREAK

La sentencia "*Break*" hace que termine la ejecución del bucle "*for*" o "*while*" más interno a los que comprenden a dicha sentencia.

```
while condición
    If condición
        break
    end
end
```

Sentencia CONTINUE

La sentencia "*continue*" hace que se pase inmediatamente a la siguiente iteración del bucle "*for*" o "*while*", saltando todas las sentencias que hay entre el "*continue*" y el fin del bucle en la iteración actual.

```
for condición
    If condición
        continue
    end
end
```

Sentencia RETURN

La sentencia "*return*", incluida dentro del código de una función, hace que se devuelva inmediatamente el control al programa que realizó la llamada.

```
If condición
    return
end
```

4.3 Matlab-GUIDE

4.3.1 Introducción

GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*) se trata de un conjunto de herramientas diseñadas para crear una interfaces gráfica de usuario (*GUI*, *Graphical User Interfaces*), esto consiste en interactuar con el programa o el sistema operativo de una computadora, con el fin de realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Concretamente, *MatLab* permite la creación de estas interfaces graficas de forma sencilla e intuitiva mediante una de sus muchas herramientas.

GUIDE estando formada por un conjunto de botones, campos de texto, menús que son fáciles e intuitivos para el usuario, de modo que a la hora de personalizar nuestra interface y de crear nuevos controles se hará de forma rápida y sencilla.

Es importante decir que a la hora de usar *GUIDE*, *MatLab* creará dos archivos, un archivo ".fig", que contiene la descripción de los componentes que integran la interface, y un archivo ".m", el cuál contiene las funciones y los controles del *GUI* así como el *callback*.

4.3.2 Inicio de una GUI

Para iniciar un nuevo proyecto, existen dos posibilidades:

- ✓ Ejecutando la siguientes instrucción en la ventana de comandos:
`>> guide`
- ✓ Haciendo *click* directamente en el icono que se muestra en la *Figura 4.5*.

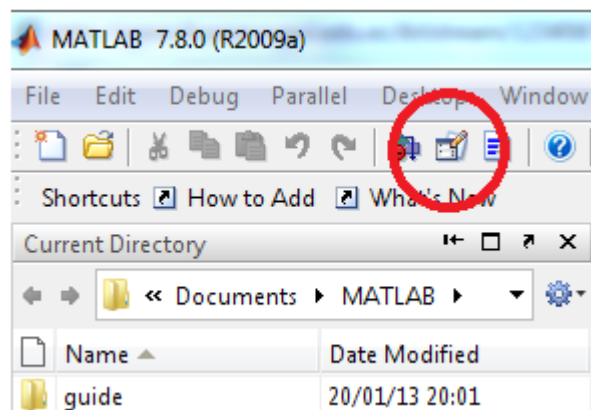


Figura 4.5: Acceso a *GUIDE* desde icono.

Al acceder aparecerá el cuadro de diálogo mostrado en la *Figura 4.6*, a través del cual se deberá seleccionar una de las diferentes opciones que el propio programa nos ofrece, esta son las que a continuación se detallan:

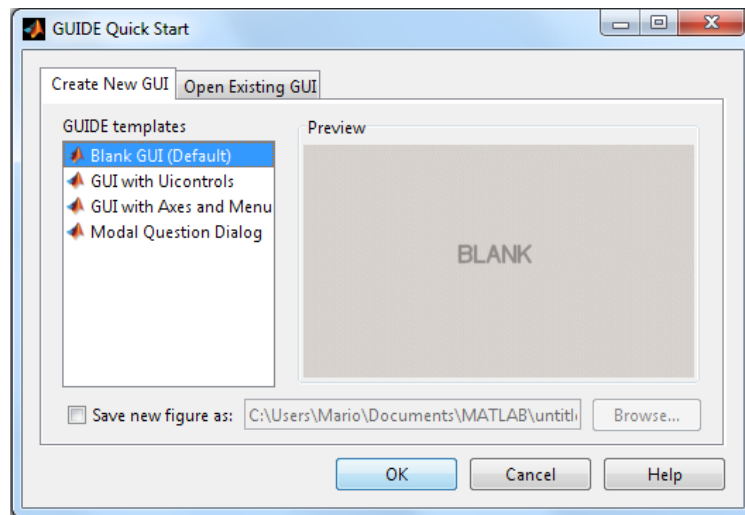


Figura 4.6: Menú para seleccionar el tipo de *GUI* inicial.

- ✓ *Blank GUI (Default)*: Esta opción, abre una interfaz gráfica de usuario en blanco, donde se puede diseñar un nuevo programa (ver *Figura 4.7*).
- ✓ *GUI with Uicontrols*: Aquí se presenta un ejemplo en el cual se calcula la masa, dada la densidad y el volumen.
- ✓ *GUI with Axes and Menu*: Esta opción es otro ejemplo, el cual contiene el menú *File* con las opciones *Open*, *Print* y *Close*. La *interface* tiene un *Popup menu*, un *Push button* y *Axes*.
- ✓ *Modal Question Dialog*: Con esta opción, se muestra en la pantalla un cuadro de diálogo común, el cual consta de una pequeña imagen, una etiqueta y dos botones *Yes* y *No*.

Seleccionando la opción "*Blank GUI*", se muestra el menú de la *Figura 4.7*, o uno similar, variando la paleta de componentes, pues por defecto viene definido sin texto. Para poder colocar el texto acompañando a cada uno de los iconos, es necesario ir a *File>>Preferentes* y seleccionar *Show names in component palette*.

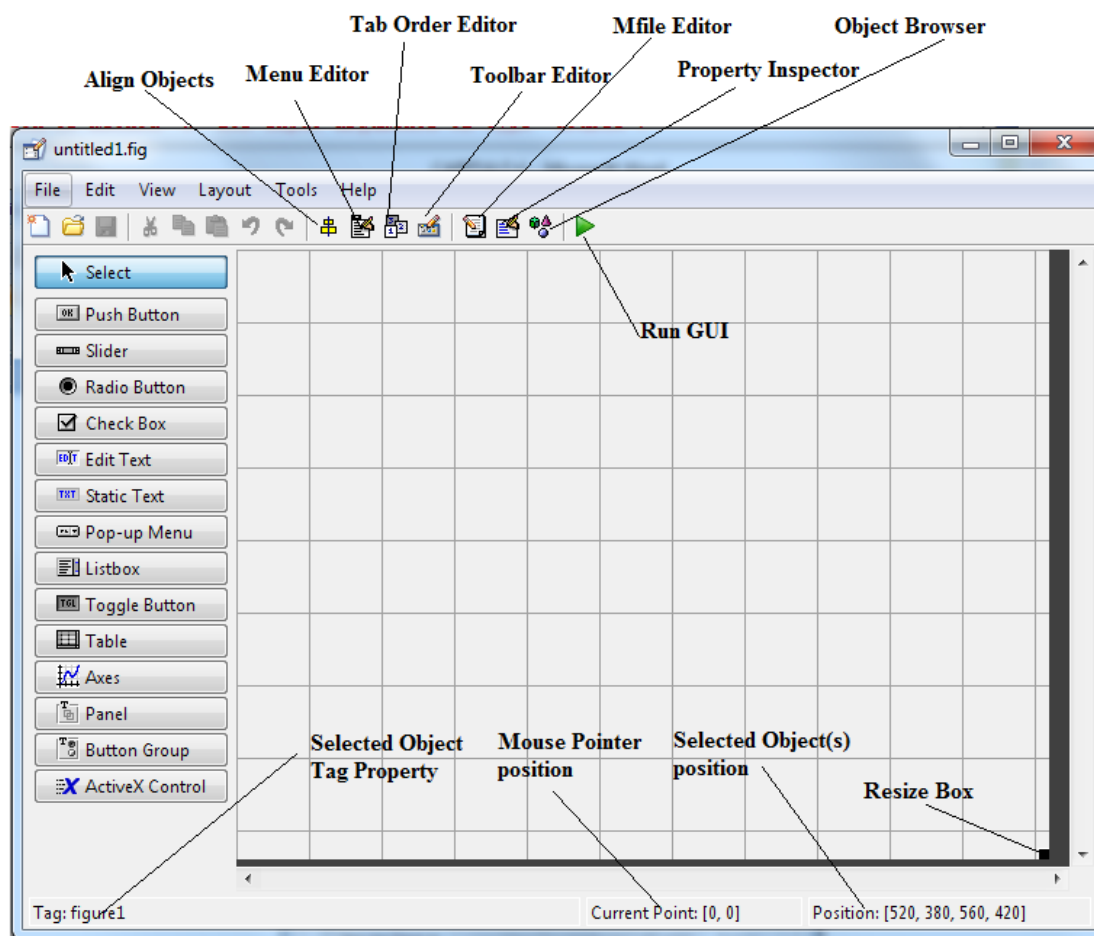


Figura 4.7: Entorno de trabajo de una GUI.

4.3.3 Entorno de trabajo

Como se puede ver en la *Figura 4.7*, el entorno de trabajo consta de una serie de menús y datos los cuales se desarrollan en los siguientes apartados del presente capítulo.

4.3.3.1 Menú "Align Objects"

Seleccionado esta opción, se abre la ventana que se muestra en la *Figura 4.8*, donde se permite alinear los componentes que se encuentran en el área de trabajo (*Layout Area*), de manera personalizada.

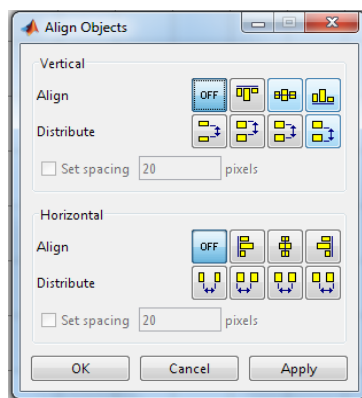


Figura 4.8: Menú *Align Objects* de *GUI*.

4.3.3.2 Menú "Editor"

Esta opción permite al usuario crear menús y submenús desplegables que aparecerán en la *interface* gráfica como se muestra en la *Figura 4.9*. Los menús se aparecerán en la parte superior de la ventana gráfica.

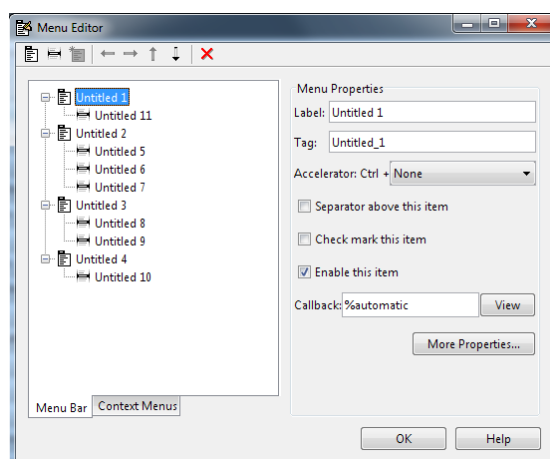


Figura 4.9: Menu *Edit* de *GUI*.

4.3.3.3 Menú "Tab Order Editor"

Mediante este icono, se accede una ventana en la que se puede configurar (mediante tabulación) el orden de acceso a los diferentes elemento de la *GUI* (ver *Figura 4.10*).

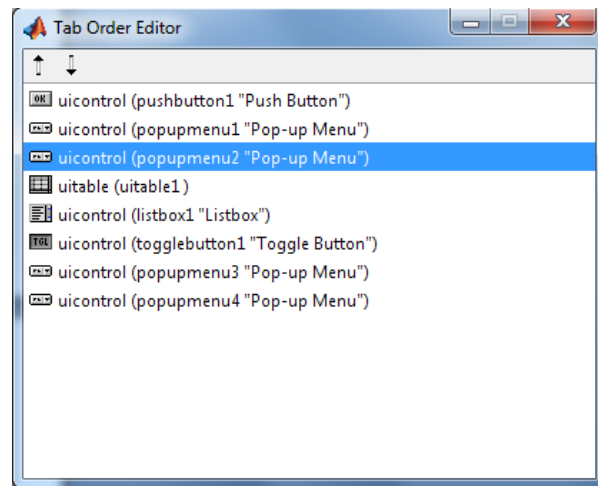


Figura 4.10: Menu *Tab Order Editor* de una GUI.

4.3.3.4 Menú "Toolbar Editor"

Este menú permite añadir iconos y personalizar las acciones de cada uno de ellos. Como puede verse en la *Figura 4.11*, son del tipo guardar, imprimir, zoom, etc.

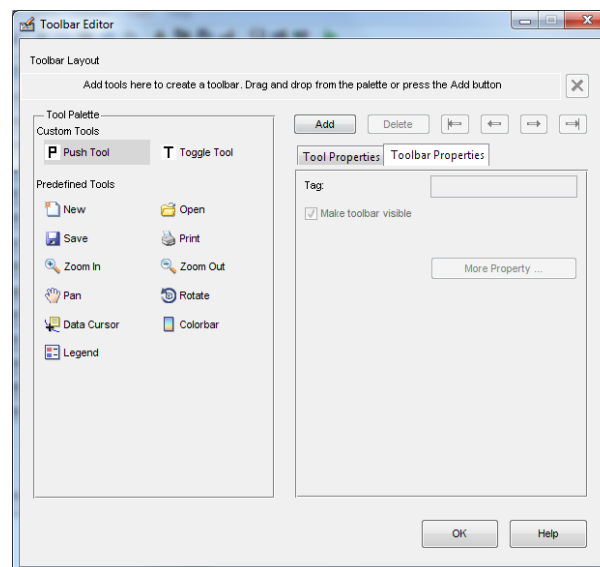


Figura 4.11: Menu *Toolbar Editor* de una GUI.

4.3.3.5 Menú "M-File Editor"

Al pulsar este icono, se abre el archivo *.m* asociado a nuestro diseño y nos posiciona en la parte inicial del programa (ver *Figura 4.12*). De esta forma, se permite la programación o visualización de cada uno de los elementos que se encuentran en nuestra ventana de trabajo.

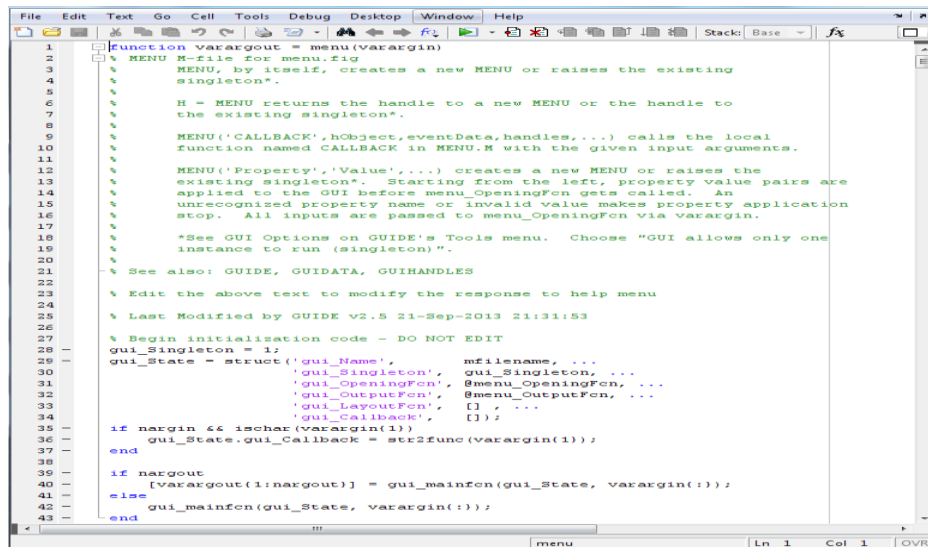


Figura 4.12: Menu M-File Editor de una GUI.

4.3.3.6 Menú "Property Inspector"

El siguiente menú permite editar cada uno de los componentes de una GUI, es decir, permite asignar y modifican las propiedades de cada objeto de forma personalizada (ver Figura 4.13).

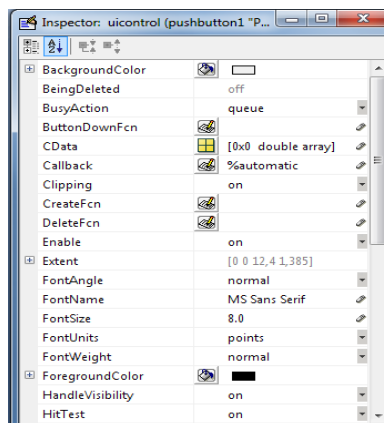


Figura 4.13: Menu Property Inspector de una GUI.

4.3.3.6 Menú "Object Browser"

La Figura 4.14, muestra la ventana que se genera al seleccionar el menú "Object Browser", en el que se detalla todos los componentes de una ventana en forma de árbol, pudiendo seleccionar cada uno de ellos.

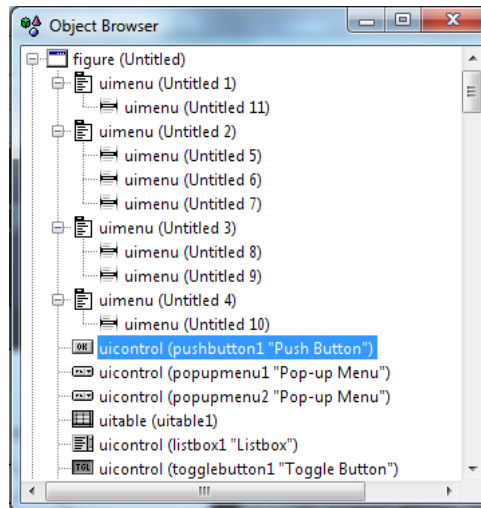



Figura 4.14: Menu *Object Browser* de una GUI.

4.3.3.6 Icono "Run Guide"

Al pulsar el icono  se ejecuta la ventana de la interfaz diseñada en el "Layout Area", pudiendo así interactuar con el programa diseñado (ver Figura 4.15).

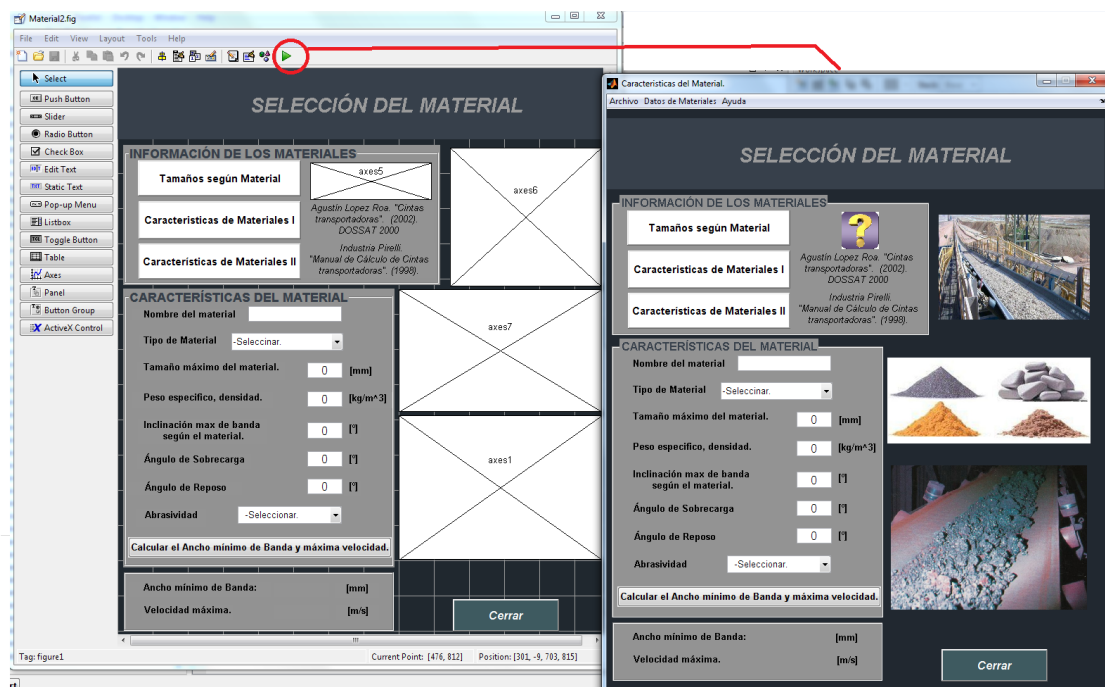


Figura 4.15: Interfaz gráfica de una GUI al pulsar Run Guide.

4.3.4 Paleta de componentes de GUIDE

En la Figura 4.16, se observa el entorno de trabajo de GUIDE, donde se ha señalado la paleta de componentes, los cuales se describen de forma individual en la siguientes páginas.

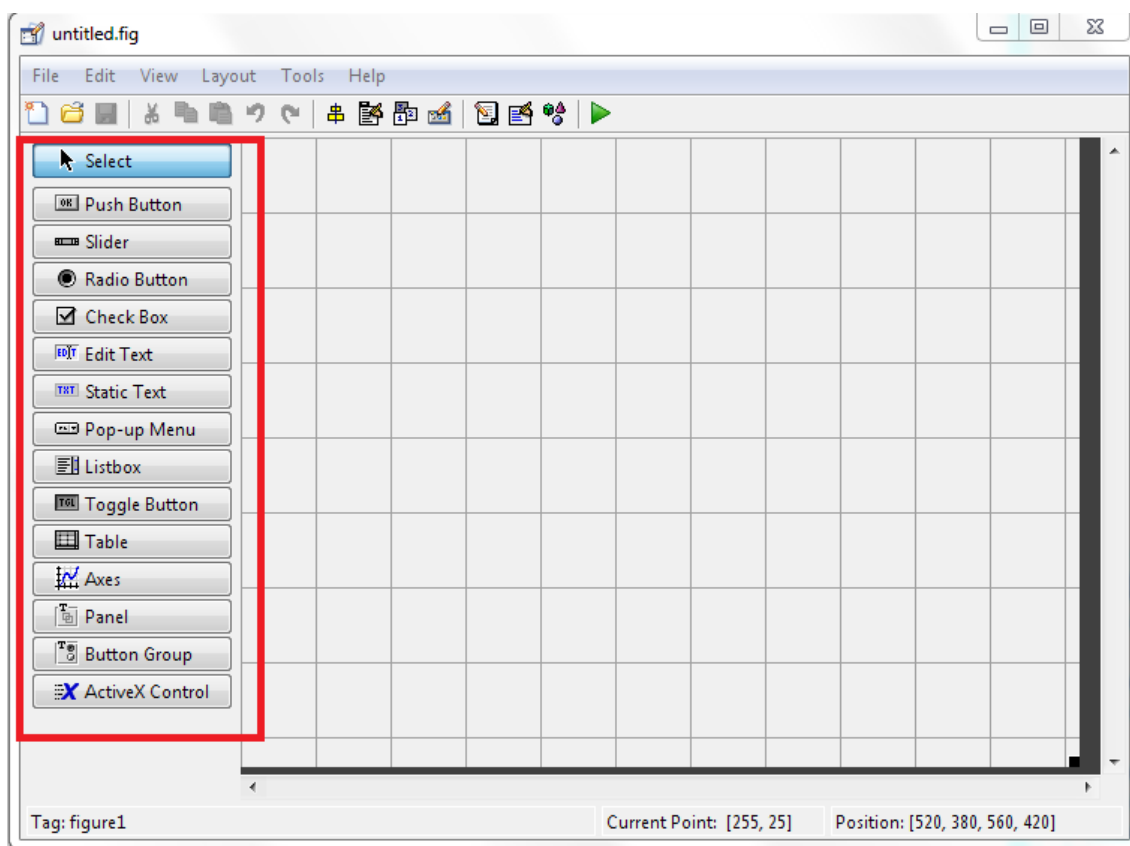


Figura 4.16: Paleta de componentes de *GUIDE*, para la creación de una *GUI*.

Push Button

Se trata de un elemento, que hace la función de "Botón", de forma que al pulsar con un *click* sobre él, se ejecuta la orden programada (ver *Figura 4.17*).

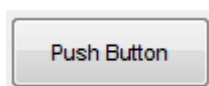


Figura 4.17: Push Button.

Slider

Se trata de una barra deslizadora cuyos valores oscilan entre 0 y 1 (inicialmente aunque puede ser reprogramado), permitiendo ejecutar acciones cuando se manipula, dependiendo de la situación de la barra deslizadora (ver *Figura 4.18*).



Figura 4.18: Slider.

Radio Button

Elemento que puede activarse o desactivarse, tomando como valores 0 y 1. Es un elemento importante cuando se quiere seleccionar entre varias opciones, de forma que al seleccionar un "Radio Button" se ejecute una orden programada (ver Figura 4.19).

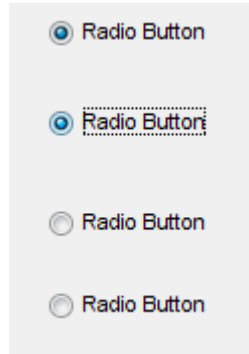


Figura 4.19: Radio Buttons.

Check Box

El "Check Box" de la Figura 4.20, es un elemento similar al "Radio Button", pero permite activarse o desactivarse. Otra diferencia con el "Radio Button", es que el "Check Box" dentro de un "Button Group", (ver Figura 4.27), pueden estar activados o desactivados, según la selección del usuario, de forma independientemente. En cambio, con los "Radio Buttons", solo se permite seleccionar uno.

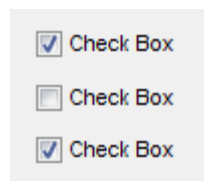


Figura 4.20: Check Box.

Edit Text

Se trata de un elemento mediante el cual el usuario puede introducir valores tanto numéricos como de tipo texto, y así poder generar una orden o almacenar el dato introducido (ver Figura 4.21).

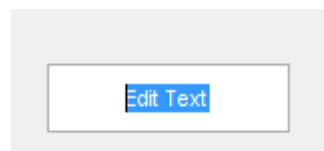


Figura 4.21: Edit Text.

Static Text

Elemento que muestra valores numérico o texto y que no pueden ser modificados por el usuario (ver Figura 4.22).

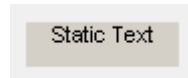


Figura 4.22: Static Text.

Pop-up Menu

Se trata de una lista desplegable a partir de la cual el usuario puede seleccionar de entre varias opciones programadas y al hacer *click* sobre una de ellas se ejecutará las órdenes programadas (ver Figura 4.23).

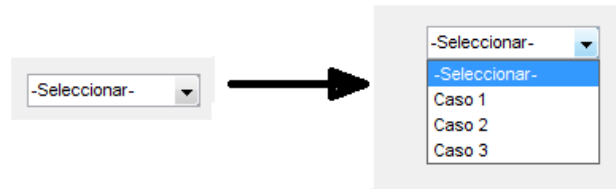


Figura 4.23: Pop-up Menu.

List Box

Es un elemento parecido al "*Pop-up Menu*", pero aparece una lista (sin desplegar) en la que se puede seleccionar uno de los diferentes campos, y ejecutar las condiciones programadas para cada caso (ver Figura 4.24).

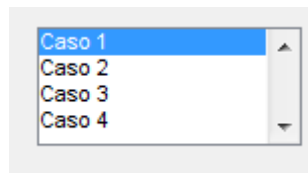


Figura 4.24: List Box.

Toogle Button

Se trata de un "Botón" similar en características al "*Push Button*", con la diferencia que el "*Toogle Button*" se puede activar, (queda pulsado y coloreado en azul) o desactivar, tomando valores de 0 o 1, respectivamente y así ejecutar una serie de acciones programadas previamente (ver Figura 4.25).

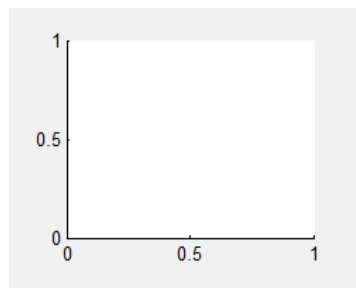
**Figura 4.25:** Toogle Button.Table

Crea una tabla de contenidos en la que se puede mostrar datos. El propio elemento posee una editor para habilitar propiedades para poder ejecutar acciones en el momento en el que se selecciona (ver *Figura 4.26*).

	1	2
1		
2		
3		
4		

Figura 4.26: Table.Axes

Es un elemento en el que se pueden generar gráficos *plots*. Aunque otro uso muy común del "Axes", suele ser mostrar imágenes, (*JPEG* y *PNG*). La opción de gráficos permite obtener datos del punto seleccionado al hacer *click* sobre la imagen (ver *Figura 4.27*).

**Figura 4.27:** Axes.Panel

Elemento utilizado para poder englobar al resto de componentes dentro de un cuadro de forma que quedan fijos, permitiendo que se puedan desplazar y seleccionar en grupo. Así se puede tener mejor organizada la interface grafica (ver *Figura 4.28*).

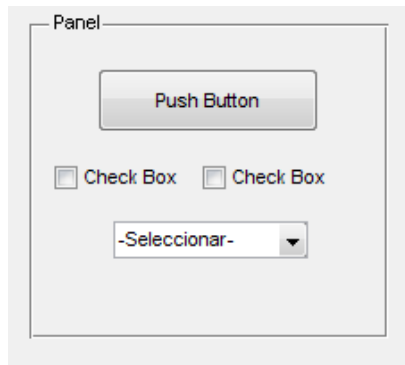


Figura 4.28: Panel.

Button Group

Elemento similar al "*Panel*", pero con la diferencia que al añadir "*Radio Buttons*" permite solamente seleccionar un elemento de entre un grupo (ver Figura 4.29).

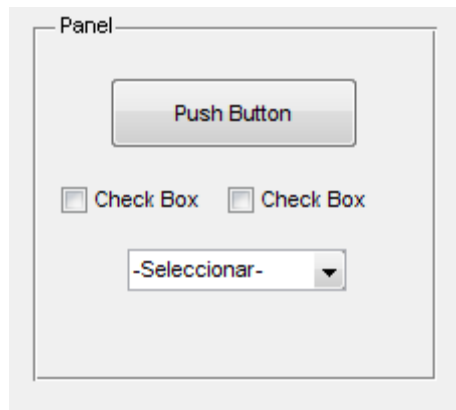


Figura 4.29: Button Group.

Todos estos elementos poseen gran cantidad de propiedades que se pueden editar, antes y durante la ejecución del programa, junto con el menú "*Property Inspector*" explicado en el punto 4.3.3.6. Para acceder a dicho menú se puede hacer doble *click* sobre el elemento que se desea modificar (o pinchar en el botón de "*Property Inspector*"). Si la modificación se ha de realizar durante la ejecución del programa, esta se puede llevar a cabo mediante un código intrínseco a alguna acción.

Para cambiar propiedades de un elemento deseado se debe programar con sentencias que se explicarán en el siguiente punto. Para cambiar el nombre o escribir un texto en un determinado elemento, se debe utilizar la siguiente orden.

```
>> set(handles.Elemento, 'Campos', 'Texto')
```

Un ejemplo de cómo cambiar el nombre de un "*Push Button*", o escribir un texto en un "*Static Text*" se muestra a continuación en la Figura 4.30.

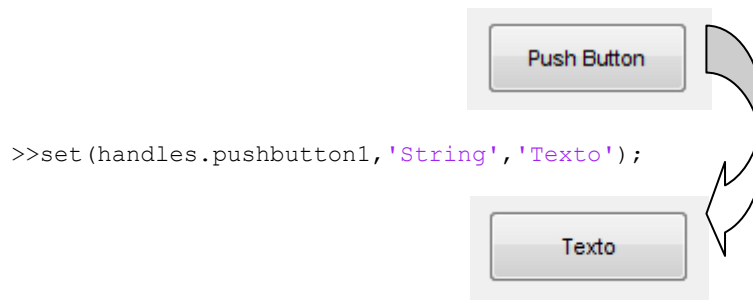


Figura 4.30: Ejemplo cambiar nombre de un *Push Button*.

También es posible asociar a los botones una imagen en lugar de un texto. Para ello, a modo de ejemplo, se detalla una orden con la se consigue dichos resultados [23].

```
[a,map]=imread('foto1.jpg');
[r,c,d]=size(a);
x=ceil(r/70);
y=ceil(c/100);
g=a(1:x:end,1:y:end,:);
g(g==255)=5.5*255;
set(handles.pushbutton7,'CData',g);
```

4.3.5 Programación y ordenes en Guide

En una interfaz gráfica de una *GUI*, el flujo de trabajo está controlado por las acciones que se llevan a cabo en el propio entorno de trabajo. En cambio, en la ventana de comandos (*M-file*) está predeterminado. Esto ocurre ya que en una ventana de comandos, el código y las variables son fijas y a menos que se cambien antes de la ejecución del mismo, estas no cambiarán (no se llevará a cabo ninguna acción). En contraposición, la interface gráfica *GUI*, permite, bajo un código preestablecido por el usuario, variar interactivamente los valores de las entradas de datos, así como elegir diferentes tipos de cálculo, desarrollo, etc.

En la *Figura 4.31* se muestra el concepto básico de la operación del software con una *GUI*. Cuando se interactúa con un control, el programa registra el valor de esa opción y ejecuta los comandos prescritos en la cadena de invocación. Los menús de la interface con el usuario, los botones, los menús desplegables, los controladores deslizantes y el texto editable son dispositivos que controlan las operaciones del software. Al completarse la ejecución de las instrucciones de la cadena de invocación, el control vuelve a la interfaz para que puedan elegirse otra opción del menú. Este ciclo se repite hasta que se cierra la *GUI*.

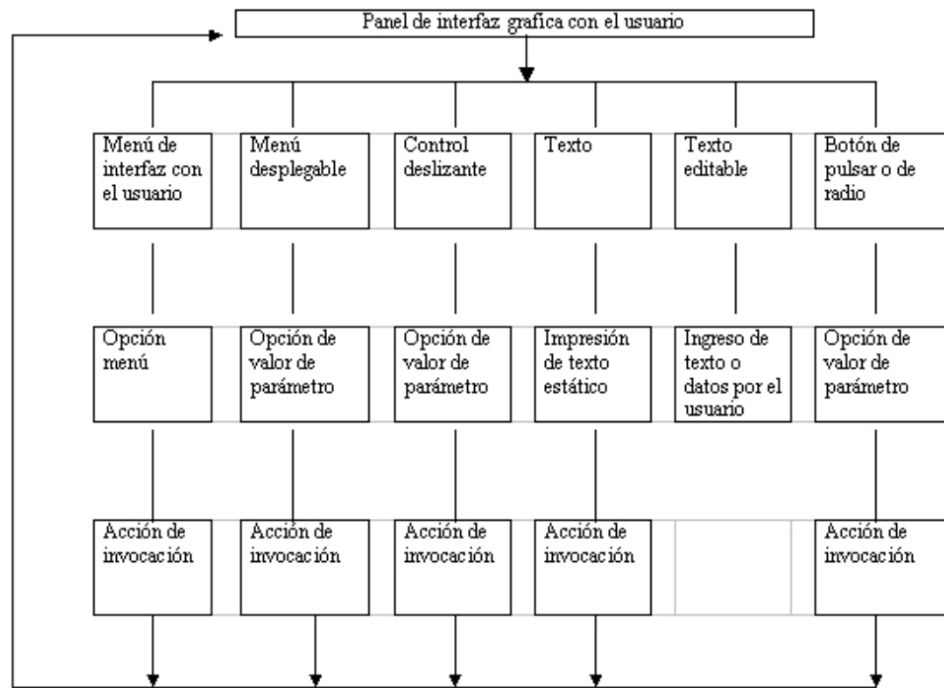


Figura 4.31: Flujo de funcionamiento de un GUI [8].

El control guarda un *"String"* que describe la acción a realizar cuando se invoca. Puede consistir en un solo comando de *MatLab*, en una secuencia de comandos, o en una llamada a una función. Es recomendable utilizar llamadas a funciones, sobre todo cuando se requieren un gran número de comandos en la invocación.

Los comandos con los que se trabaja son el *"set"* y *"get"* que dan y toman valores respectivamente de las propiedades de los elementos del *GUI*. Al ser usados, se ha de indicar no solo la propiedad con la que se está interaccionando, sino también el elemento en sí. Esto se realiza mediante el comando *"Handles"* que permite acceder a un elemento concreto. Del mismo modo, al hacer *click* sobre un elemento, el código se ha de escribir tras la *function* (función) que define a dicho elemento. A continuación, se muestran algunos ejemplos de cómo manejar estos comandos:

Tomar el valor de un *"Radio button"* con nombre (campo *Tag*), *"radiobutton1"* y guardarlo en la variable *"R"* para su posterior uso:

```
>>R = get(handles.radiobutton1, 'value');
```

Realizar una suma o resta mediante un *"Push button"* en función de la selección previa del *"Radio Button"* según el valor que toma *"R"* :

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
>> R = get(handles.radiobutton1, 'value');
>>if R == 1;
    SUMA = 2+2;
    Res = SUMA;
```



```
>>else  
  
    RESTA = 2-2;  
  
    Res = RESTA;  
  
>>end
```

Mostrar el resultado anterior en el campo "String" de un "Static text" denominado "text2" y el texto "resultado" en el mismo campo de un "Static text" denominado "text1":

```
>> set(handles.text2,'string',Res);  
  
>> set(handles.text1,'string','Resultado');
```

Existen comandos para mostrar una variable y un texto a la vez, para tomar valores del campo *String* para limitar el número de elementos a mostrar, para convertir *Strings* a formato *doublé*, etc. Muchas de ellas utilizadas en el desarrollo del programa.



CAPITULO 5

Cálculo de una banda transportadora

5.1 Definición de los parámetros principales

5.1.1 Generalidades

Es evidente que lo primero que se debe conocer al proyectar una cinta transportadora son las características del material a transportar, debido a la gran existencia de los tipos diferentes de materiales a granel que se pueden encontrar. Para su selección existen diferentes métodos y estudios. En este caso se ha seleccionado el método I.S.O. y F.M.E. Consiste principalmente en diferenciar los materiales según el tamaño y forma, teniendo en cuenta propiedades como el peso específico, el tamaño y la forma. Este método también considera otras características desde el punto de vista del transporte como son la abrasividad, ángulo de reposo, ángulo de sobrecarga y la inclinación máxima de la banda para ese material seleccionado..

5.1.2 Características principales

5.1.2.1 Peso específico (γ)

El peso específico de un material se define como su peso por unidad de volumen y se expresa en $[kg/m^3]$ (kilogramo por metro cúbico) en el Sistema Internacional. En muchos materiales, el peso unitario está sujeto a variaciones debido al tamaño del material, a su grado de humedad y en el caso de los minerales a su formación natural. Sin embargo, y donde sea posible, el peso específico deberá ser correctamente determinado dependiendo del tamaño y tipo de material considerado [16].

5.1.2.2 Tamaño

El tamaño del trozo de material se define por la mayor dimensión del paralelepípedo en el cual se puede inscribir dicho trozo. Los materiales se clasifican desde el punto de vista del tamaño para su transporte en clasificados / uniformes y en no clasificados / no uniformes. Para los materiales clasificados, el tamaño mínimo a considerar será de 2.5 mm. De acuerdo con esta clasificación se seleccionará un ancho de banda mínimo que cumpla estas condiciones (ver Figura 5.1 y Tabla 5.1). También la selección del tamaño del material influirá en el valor del tamaño de los rodillos de la zona de carga.

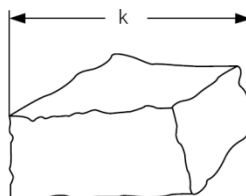


Figura 5.1: Tamaño del material [2].

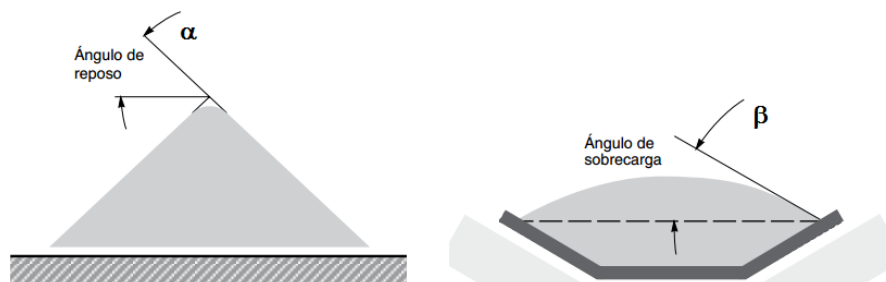
Tabla 5.1: Selección del ancho de banda según tamaño de material [2].

Ancho mínimo de Banda	Tamaños	
	Uniforme	Mixto
400	50	100
500	75	150
650	125	200
800	170	300
1000	250	400
1200	350	500
1400	400	600
1600	450	650
1800	500	700
2000	550	750
2200	600	800

5.1.2.3 Ángulo de reposo (α) y ángulo de sobrecarga (β)

La fluidez del material depende directamente del ángulo de reposo (α); este ángulo es el formado por la horizontal y la generatriz del cono que se forma al verter el material desde cierta altura. Éste se considera un ángulo estático. Con lo cual la fluidez será mayor para materiales que tengan ángulos de sobrecarga pequeños.

Respecto al ángulo de sobrecarga (β), se trata de un ángulo el cuál, tiene una relación directa con el ángulo de reposo (α). El ángulo de sobrecarga (β), también llamado ángulo de reposo dinámico, es el que se forma en el perfil transversal de las cintas cargadas (Figura 5.2), y generalmente es el ángulo de reposo menos un valor variable entre 5° y 20° .

**Figura 5.2:** Ángulos de sobrecarga, y ángulo de reposo [5].

5.1.2.4 Ángulo de máxima inclinación (δ)

Otro ángulo importante a considerar a la hora de diseñar una cinta transportadora es el ángulo de máxima inclinación de ascenso en la banda (δ). Es el ángulo bajo el cual el material puede ser transportado sobre la banda sin necesidad de usar bandas especiales (que evitan el deslizamiento del material). Este ángulo máximo de inclinación está determinado por la fricción entre el material y la banda, a diferencia del ángulo de sobrecarga que depende de la fricción interna del material. El ángulo máximo de inclinación es menor que el ángulo de sobrecarga.

5.1.2.5 Abrasividad

Propiedad del material importante para la selección del tipo de cinta transportadora, del espesor y del número de capas de la cubierta de la misma. Los materiales vienen dados por la norma DIN 22102 [2].

Esta norma diferencia entre los materiales: No abrasivos o muy poco abrasivos (como el carbón vegetal, y las virutas de madera), abrasivos o poco abrasivos (como el hielo triturado, carbón, cemento) y muy abrasivos (piedra, arena, grava, coque, cobre mineral). La *Tabla 5.2* recoge algunos materiales generalmente empleados en la industria junto con sus características anteriormente mencionadas. Estos son valores recomendados y los mismos pueden variar de acuerdo a las condiciones específicas de cada material en el momento del transporte.

Tabla 5.2: Características de los materiales [1].

MATERIAL	TAMAÑO [mm]	PESO ESPECÍFICO [T/m ³]	ÁNGULOS		ABRASIVIDAD
			REPOSO α	INC. MÁXIMA DE LA BANDA δ	
ARCILLA fina	3	1,0-1,6	-	15	Muy abrasiva
Arena seca	3	1,5-1,8	35°	16°-18°	Muy abrasiva
Asfalto	15	0,75	30°-45°	16°-18°	Abrasivo
Basalto	75-150	1,4-1,7	27°-35°	18°	Abrasivo
Caliza	3-15	1,3-1,5	38°	18°	Abrasivo
Cal	3	0,6	40°	21°	Abrasiva
Cemento	2,5-40	1,3-1,5	30°-40°	18°-20°	Muy abrasiva
Cenizas carbón	10-75	0,7-0,8	45°	20°	Algo Abrasivo
Cuarzo	15	1,3-1,45	20°-29°	18°	No Abrasivo
Escoria	3-10	1,3-1,4	30°	10°	Muy Abrasiva
Granito	10-150	1,4-1,5	35°	18°	Muy Abrasivo
Grava	10-75	1,5-1,7	32°	20°	Muy Abrasivo
Harina	0-2,5	0,6-0,9	0-10°	10°	No Abrasivo
Tierra	2,5-10	1,2-1,3	35°	17°	-
Coke	3-15	0,5-1	30°-45°	18°	Muy abrasivo
Lignito	15	0,7-1	40°	18°-22°	Abrasivo
Fosfatos	3	1	26°	11°	Abrasivo
Nitratos de Sodio	75	1,1-1,4	24°	11°	No Abrasivo
Cobre	75	1,9-2,2	30°-45°	20°	Muy Abrasivo

Para ver más tipos de materiales ir a [1], [2] y [3].

5.1.2.6 Otras características

Cohesión

La cohesión es la cualidad por la cual las partículas se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, dependientes, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con las que la rodean. Dependiendo de su mayor o menor grado de cohesión, se puede producir un mayor o menor desgaste de la banda y de las guías de carga. Es la inversa de la fluidez.

Fluidez

Es la propiedad inversa a la cohesión. De este modo, cuanto menor es la cohesión, mayor es la fluidez.

Temperatura

La temperatura del material a transportar determina el tipo y la calidad de los recubrimientos de la banda transportadora, así como la influencia de la vida de los rodillos.

Corrosividad

La corrosividad del material (al igual que la abrasividad y la temperatura), determina la calidad y el tipo de recubrimiento, ya que hace referencia al deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico debido al entorno que le rodea.

5.2 Definición del ancho de banda y velocidad

5.2.1 Introducción

A la hora de proyectar una banda transportadora, los parámetros más importantes son la correcta elección del ancho de banda y la velocidad, cuya selección dependerá de los datos básicos correspondientes a:

- ✓ *Material*
- ✓ *Geometría de la cinta*
- ✓ *Capacidad a transportar*

La elección correcta de la velocidad y del ancho de banda evitarán derramamientos del material, con lo cual, su elección es minuciosa y de vital importancia. Respecto a su elección, como ya se ha comentado en el párrafo anterior, el material influye especialmente por su tamaño. Los otros dos datos a considerar son: La geometría de la cinta y la capacidad de material a transportar. Estas dos depende a su vez de otras características que serán detalladas en los apartados siguientes.

5.2.2 Características geométricas de la banda

Para realizar el diseño de una banda transportadora, es necesario definir la trayectoria y la forma de la cinta transportadora desde el lugar de alimentación del material hasta el punto de descarga, el cual en la mayoría de los casos corresponde al cabezal motriz. Por ello es necesario la definición de una serie de parámetros que se describen en el siguiente párrafo.

Existen diferentes casos a la hora de considerar el diseño geométrico de una banda transportadora. En el desarrollo del presente Proyecto Fin de Carrera, solamente se ha tratado el cálculo de las características geométricas simples de la banda, sin considerar curvas verticales ni horizontales, pudiendo mejorar en un futuro dicho programa incluyendo estas disposiciones. Aún así, se va a describir como se deben realizar los cálculos para llevar a cabo un diseño correcto.

5.2.2.1 Longitud de la banda (L)

Se define la longitud de una banda como la distancia en metros, medida a lo largo de la cinta entre centros de los tambores terminales, de acuerdo con la trayectoria de la banda. En caso de tener una cinta transportadora con diferentes tramos, se considerará la proyección horizontal de todos los tramos inclinados entre los tambores terminales, además de todos los tramos horizontales. Constituyendo así la longitud total de la banda.

5.2.2.2 Altura (H)

La altura es la diferencia de elevación en metros, entre el punto de carga del material sobre la banda y el punto de descarga. Esta longitud, será necesaria para llevar a cabo el cálculo de la tensión necesaria para baja o elevar la carga. En caso de tener varios tramos con una determinada altura, será necesario especificar la altura correspondiente a cada uno de los tramos de la banda.

5.2.2.3 Ángulo de inclinación de la banda (φ)

El ángulo de inclinación de la banda, viene definido como alternativa a la altura cuando la banda es de un único tramo. En caso de tener más de un tramo vendrá definido el ángulo de inclinación para cada uno de los tramos.

Este valor afecta directamente y viene definido por el tipo de material a transportar y por el ángulo de máxima inclinación del material sin que se produzca deslizamiento de éste sobre la banda.

El ángulo se calculará de acuerdo con la ecuación siguiente (*ver ecuación 5.1*).

$$\varphi = \text{sen}^{-1} \cdot \left(\frac{H}{L} \right) \quad (5.1)$$

Donde:

H : Altura entre ejes de tambores. [m]

L : Longitud de total de la cinta. [m]

5.2.2.4 Radio de curvatura

En el Proyecto Fin de Carrera, no se ha desarrollado el caso donde se calcula el radio de curvatura. Aún así es importante indicar la existencia del radio formado por el tramo horizontal y el tramo inclinado de la banda, pudiendo ser cóncavo o convexo.

Los parámetros descritos anteriormente quedan reflejados en las Figuras 5.3 y 5.4

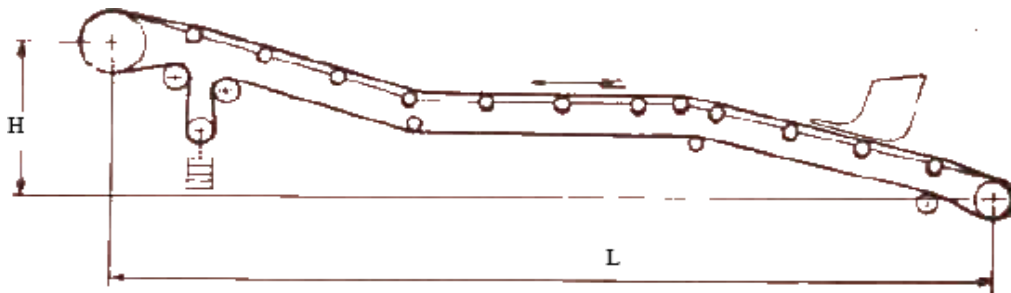


Figura 5.3: Banda con diferentes tramos [3].

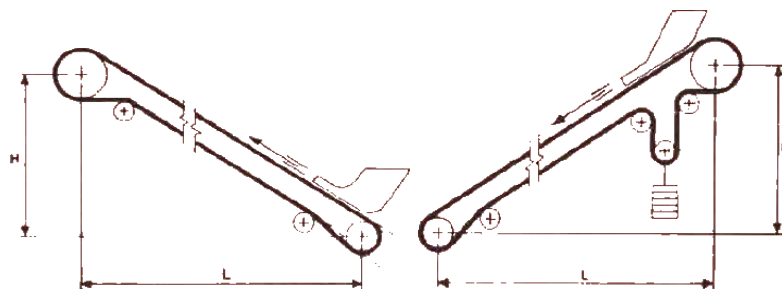


Figura 5.4: Banda con una configuración básica [3].

5.2.3 Capacidad a transportar

5.2.3.1 Capacidad requerida y capacidad máxima

La capacidad requerida es expresada en toneladas por hora (t/h), y es el valor máximo de capacidad requerida por el proceso, de acuerdo con las condiciones del usuario. (no es un valor promedio). Esta capacidad se empleará en los cálculos de las tensiones en la banda y la potencia requerida para accionar la cinta transportadora.

Por otra parte, también se debe definir la capacidad máxima de transporte. Esta capacidad dependerá del ancho de banda que se seleccione, de la velocidad de la banda, del ángulo de inclinación de los rodillos transportadores y de la densidad del material transportado. La capacidad máxima calculada deberá ser mayor que la capacidad requerida para que la banda opere sin problemas.

Se parte de la ecuación 5.2, donde el único parámetro anteriormente explicado es el peso específico del material (γ), éste no depende de otros parámetros, únicamente es una característica particular de cada material. Los demás parámetros son analizados de forma independiente.

$$Q = 3600 \cdot v \cdot A \cdot \gamma \cdot k \quad (5.2)$$

Donde:

Q : Capacidad de transporte de la banda. [t/h]

v : Velocidad de la banda. [m/s]

A : Sección transversal del material sobre la banda. [m³]

γ : Peso específico del material. [t/m³]

k : Coeficiente de reducción de capacidad por inclinación. [-]

5.2.3.2 Velocidad (v)

A la hora de determinar la velocidad, en general, interesa que sea la máxima admisible (que permita la capacidad), pues de esta forma los anchos de banda serán más pequeños y por ello más económicos, pero a la hora de su elección, se debe tener en cuenta la influencia del material y las características de las que depende. Algunas de ellas son:

- ✓ *La fluidez*: Definido en el apartado 5.1.2.6. En la mayoría de los casos los materiales que son fluidos son pulverulentos, con lo cual, no se recomienda utilizar velocidades elevadas para este tipo de materiales, pues producirán polvo en los puntos de carga y descarga.
- ✓ *La abrasividad*: Los materiales abrasivos suelen tener sus aristas afiladas, por ello es aconsejable no utilizar una velocidad elevada con estos materiales, pues pueden provocar cortes en la banda durante las transferencias.
- ✓ *El tamaño*: El tamaño también limita la velocidad, pues cuanto mayor sea el tamaño de los trozos, más pesados serán, y con ello su impacto debilitará el tejido de la banda.

Siendo muy difícil de valorar todas estas características, se consideraran únicamente las relaciones empíricas que han determinado por procesos experimentales, los diferentes fabricantes, dichas características se detallan en la *Tabla 5.3*.

Tabla 5.3: Relación empíricas ancho de banda-velocidad / tamaño de material [2] y [11].

Ancho mínimo de Banda (mm)	Tamaños máximos (mm)		Velocidad máxima en m/s)			
	Uniforme	Mixto	A	B	C	D
400	50	100	2,62	2,09	2,09	1,31
500	75	150	2,62	2,62	2,09	1,68
650	125	200	3,35	2,62	2,62	1,68
800	170	300	3,35	3,35	2,62	2,09
1000	250	400	4,19	3,35	3,35	2,09
1200	350	500	4,19	3,35	3,35	2,62
1400	400	600	4,19	3,35	3,35	3,35
1600	450	650	4,19	4,19	3,35	3,35
1800	500	700	4,19	4,19	3,35	3,35
2000	550	750	5,24	4,19	3,35	3,35
2200	600	800	5,24	5,24	4,19	4,19
A- Materiales ligeros deslizables, no abrasivos con peso específico de 0,5 -1 T/m ³						
B- Materiales no abrasivos o muy poco abrasivo con tamaño medio, peso específico de 1 - 1,5 T/m ³						
C- Materiales medianamente abrasivos y pesados, con peso específico de 1,5 a 2 T/m ³						
D- Materiales muy abrasivos pesados y cortantes, peso específico mayor a 2 T/m ³						

Por otro lado la velocidad debe elegirse de acuerdo con la normalizada por la DIN 22101, cuyos valores se detallan en la *Tabla 5.4*.

Tabla 5.4: Valores normalizados de velocidad, según la norma DIN 22101.

0,66	0,84	1,05	1,31
1,68	2,09	2,62	3,35
4,19	5,24		

Otras variables que influyen en la selección de la velocidad, son la capacidad requerida, la tensión resultante en la banda y la potencia requerida.

Hasta donde la capacidad lo permita, es deseable seleccionar una velocidad de banda de forma que la cinta se encuentre lo más ocupada posible, produciendo de esta forma un mejor patrón de desgaste de la cubierta de la banda. Sin embargo, a veces es necesario llegar a un compromiso en favor de la tensión de la banda. Esto, como ya se ha indicado en el punto anterior, se logra incrementando la velocidad de la banda, lo cual reduce la sección transversal de la carga y por ello también la tensión, permitiendo una banda menos cargada.

La velocidad tiene también un efecto sobre la potencia requerida, particularmente en bandas con poca o ninguna inclinación. Con un tonelaje horario constante, la potencia requerida disminuye a medida que la velocidad decrece. Esto se debe a que la potencia para hacer funcionar la banda varía con la velocidad.

5.2.3.3 Sección transversal (A)

La sección transversal del material a transportar depende obviamente del ancho de banda, el ángulo de sobrecarga y del ángulo de artesa, así como de la longitud de los rodillos de la banda. Todas estas magnitudes, depende a su vez del material a transportar.

Para calcular el valor de la sección transversal, se han aplicado las ecuaciones descritas en el catálogo del fabricante *Dunlop* [2].

Dependiendo de la configuración de los rodillos, la sección transversal será diferente. Las configuraciones que se han desarrollado han sido:

- ✓ Rodillos en artesa (ver Figura 5.6).
- ✓ Rodillos en V (ver Figura 5.7).
- ✓ Rodillo plano (ver Figura 5.8).

Cada una de estas configuración se desarrollarán en el apartado 5.3. Previamente es necesario recordar las condiciones de los dos ángulos, ya mencionados, de los que depende la sección transversal de acuerdo con la Figura 5.5.

El ángulo de artesa (λ), depende principalmente de la flexibilidad de la banda empleada. Habitualmente se considera un $\lambda=35^\circ$. Si se transportase un material de tamaño mayor, el ángulo de artesa deberá aumentar su valor para impedir un posible vertido del material. El tipo de material generalmente no influye, pero sí su tamaño.

El ángulo de sobrecarga (β) depende del grado de fluidez del material, a más fluidez, menor ángulo de sobrecarga. Esta fluidez limita la inclinación de la banda (δ)

5.2.2.4 Coeficiente de reducción de capacidad por inclinación (k)

La norma DIN 22101 indica los factores por lo que hay que multiplicar los valores de la capacidad para obtener los valores reales (ver Tabla 5.5).

Tabla 5.5: Factores de reducción de capacidad por inclinación según norma DIN 22101

Inclinación [°]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Factor de Reducción K	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,85	0,81

Como se puede ver en la Tabla 5.5, no se consideran ángulos mayores a 20° o 25° , pues únicamente, en este proyecto se tratan los casos de bandas lisas.

Si se analiza la ecuación 5.2, partiendo de que la capacidad de transporte la define el usuario, la velocidad y el área transversal dependen del material seleccionado, se puede deducir que el producto de ambas variables debe ser constante.

Conocido la capacidad a transportar requerida y las características del material, el primer paso será determinar el ancho mínimo de banda.

Para llevar a cabo una correcta selección del ancho mínimo de banda se deberá tener en cuenta el párrafo que a continuación se detalla:

El ancho de banda no debe ser menor de tres veces la dimensión más grande del mayor grano de material a transportar. En el caso de tener un material con granulometría elevada, la guía de carga debe ser lo suficientemente ancha para permitir el paso de cualquier combinación de granos gruesos y finos, lo cual restringe a un mínimo el ancho de la banda independientemente de la capacidad requerida. Como consecuencia de esto, puede suceder que el ancho de banda requerido para manejar el tamaño de grano resulte más grande que el requerido por la capacidad de transporte. Esta condición puede ser evitada mediante trituración o molienda de los terrones grandes antes de ser transportados, condición muy recomendable y llevada a cabo en minerías.

Por lo tanto, para decidir el valor del ancho mínimo de banda se debe considerar: El tipo de material, el tamaño de grano, y la capacidad a transportar. La *Tabla 5.1* indica los valores mínimos sugeridos de ancho de banda normalizados de acuerdo con la norma DIN 22101 en función del tamaño de grano máximo del material.

5.3 Cálculo de los parámetros de una banda transportadora

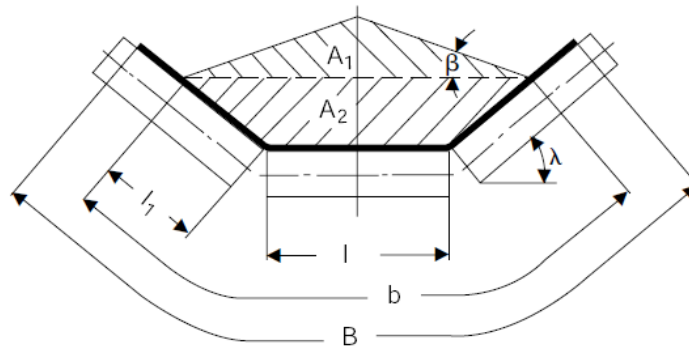
Los parámetros que se desarrollarán en este apartado, son los valores de salida que el programa ofrece al usuario para llevar a cabo un diseño adecuado de la banda.

5.3.1 Selección del ancho-velocidad más apropiado

Para llevar a cabo la selección final del ancho mínimo de banda se tomará de forma parcial un valor que cumpla con las consideraciones teóricas desarrolladas en el apartado 5.2 (cumpliendo con la granulometría y tipo del material). De esta forma, se puede establecer una primera aproximación, para que más tarde se puede ajustar este ancho de banda al valor correcto considerando la capacidad a transportar. Para ello, mediante la *Tabla 5.3*, se selecciona el valor del ancho de banda mínimo y el valor de velocidad máxima que cumpla con las condiciones de abrasividad y peso específico del material.

5.3.2 Disposición de los rodillos

La disposición de los rodillos, dependerá del uso para el que está destinado la banda transportadora. Dicha configuración, como se explicó en el punto 5.2.3.3, afectará principalmente al cálculo de la sección transversal del material. A continuación se detallan los cálculos llevados a cabo en el desarrollo del proyecto, para los diferentes casos estudiados (*ver ecuaciones 5.3 - 5.8*):

Rodillos en artesa**Figura 5.5:** Configuración de rodillos en artesa [2].

$$A = A_1 + A_2 \quad (5.3)$$

$$A_1 = 0.25 \cdot \tan(\beta) \cdot [l + (b - l) \cdot \cos(\lambda)]^2 \quad (5.4)$$

$$A_2 = l_1 \cdot \sin(\lambda) \cdot [l + l_1 \cdot \cos(\lambda)] \quad (5.5)$$

Siendo:

$$b = 0.9 \cdot B - 0.05 \quad \text{Si } B \leq 2000 \text{ mm} \quad (5.6)$$

$$b = B - 0.25 \quad \text{Si } B > 2000 \text{ mm} \quad (5.7)$$

$$l_1 = 0.5 \cdot (b - l)$$

Donde:

A : Sección transversal total del material sobre la banda. $[m^2]$

A_1 : Sección transversal del material, zona superior. $[m^2]$

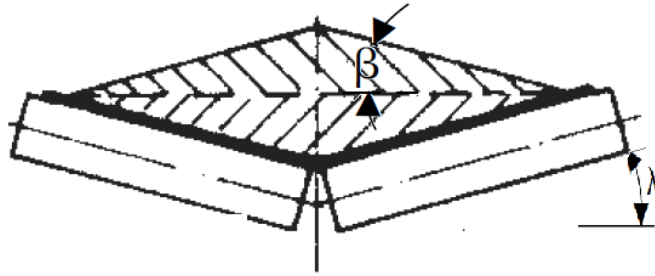
A_2 : Sección transversal del material, zona inferior. $[m^2]$

β : Ángulo de sobrecarga. $[^\circ]$

λ : Ángulo de artesa. $[^\circ]$

l : longitud de los rodillos. $[m]$

B : Ancho de banda. $[m]$

Rodillos en V**Figura 5.6:** Configuración de rodillos en V [2].

$$A = 2 \cdot A1 \quad (5.8)$$

$$A1 = 0.25 \cdot \tan(\beta) \cdot [l + (b - l) \cdot \cos(\lambda)]^2 \quad (5.4)$$

Siendo

$$b = 0.9 \cdot B - 0.05 \quad \text{Si } B \leq 2000 \text{ mm} \quad (5.6)$$

$$b = B - 0.25 \quad \text{Si } B > 2000 \text{ mm} \quad (5.7)$$

Donde:

A : Sección transversal total del material sobre la banda. $[m^2]$

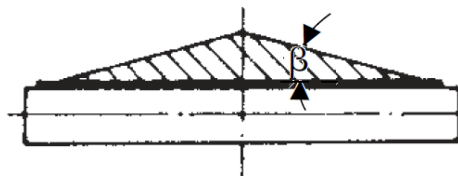
$A1$: Sección transversal del material, zona superior. $[m^2]$

β : Ángulo de sobrecarga. $[^\circ]$

λ : Ángulo de artesa. $[^\circ]$

l : longitud de los rodillos. $[m]$

B : Ancho de banda. $[m]$

Rodillo plano**Figura 5.7:** Configuración de rodillo plano [2].

$$A = A1 \quad (5.4)$$

$$A1 = 0.25 \cdot \tan(\beta) \cdot [l + (b - l) \cdot \cos(\lambda)]^2 \quad (5.4)$$

Siendo:

$$b = 0.9 \cdot B - 0.05 \quad \text{Si } B \leq 2000 \text{ mm} \quad (5.6)$$

$$b = B - 0.25 \quad \text{Si } B > 2000 \text{ mm} \quad (5.7)$$

Donde:

AI : Sección transversal del material, zona superior. $[m^2]$

β : Ángulo de sobrecarga. $[^\circ]$

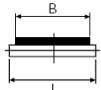


λ : Ángulo de artesa. $[^\circ]$

l : longitud de los rodillos. $[m]$

B : Ancho de banda. $[m]$

Otro valor que se debe seleccionar y que relaciona el ancho de banda con la configuración de los rodillos, es la longitud de los rodillo, la cual se debe establecer según la configuración deseada por el usuario, de acuerdo con la *Tabla 5.6*.

Tabla 5.6: Longitud de los rodillos [2].

ANCHO DE BANDA	LONGITUD DE LOS RODILLOS (mm)		
	Flat	2 roll	3 roll
B (mm)			
300	380	200	-
400	500	250	160
500	600	315	200
600	700	340	250
650	750	380	250
800	950	465	315
1000	1150	600	380
1200	1400	700	465
1400	1600	800	530
1600	1800	900	600
1800	2000	1000	670
2000	2200	1100	750
2200	2500	1250	800

La separación "d" (distancia entre dos rodillos), indicada en la *Tabla 5.6*, nunca podrá ser superior a 10 mm, excepto para el caso en el que el ancho de banda sea mayor que 2000 mm, donde "d" podrá ser igual a 15 mm de acuerdo con la norma DIN 22107.

5.3.3 Determinación de la capacidad de transporte de la banda

La capacidad volumétrica de la banda transportadora está determinada por el área de la sección transversal de la carga que puede ser apilada encima de la cinta sin ocasionar derrame del material ni pequeñas ondulaciones de la banda a su paso sobre los

rodillo. Esta área de la sección transversal, se ve afectada por las características del material y depende en mayor medida del ángulo de sobrecarga.

Para el cálculo de la capacidad real de la banda se debe tener presente los siguientes puntos:

1. Deben observarse las limitaciones en cuanto al ancho de la banda, debido al tamaño de grano máximo del material que se transporta de acuerdo a la *Tabla 5.1*.
2. Deben observarse las limitaciones en cuanto a velocidad de la banda en función del tipo de material y del ancho de la cinta, estando estos valores tabulados en la *Tabla 5.3*.
3. La forma y ubicación de la guía de carga y de la tolva en el punto de alimentación del material debe ser correctamente diseñada para permitir la mayor ventaja inicial en cuanto a la forma de reposo del material, de tal manera que éste ocupe el mayor espacio posible en el ancho de la banda.
4. La banda debe ser alimentada de tal manera que el punto de carga se ubique en el centro del ancho de la banda y con una pendiente no mayor a 8° en dicho punto.
5. El espaciamiento de los rodillos superiores debe ser apropiado de acuerdo a la tensión de la banda para minimizar la vibración de la misma. Esto evitará un posible derrame del material.
6. Si se tienen tamaños de grano cerca del límite de ancho de la banda, es necesario colocar deflectores del material en la guía de carga para reubicar dicho material.

Una vez considerado todos los puntos anteriores, conocida el área de la sección transversal del material y la velocidad de transporte de la banda, el valor de la capacidad volumétrica de transporte se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Qv = 3600 \cdot v \cdot A \cdot k \quad (5.2)$$

Donde:

$$Qv = \text{Capacidad.} \quad [m^3/h]$$

$$v = \text{Velocidad.} \quad [m/s]$$

$$A = \text{Sección transversal del material sobre la banda.} \quad [m^2]$$

$$k = \text{Coeficiente de reducción de capacidad por inclinación.} \quad [-]$$

Como se indicó en el apartado 5.2.2.4, si la banda tiene inclinación, ya sea descendente o ascendente, se debe aplicar un factor de reducción del área transversal, que afecta directamente al valor de la capacidad. El valor de " k " viene definido bien por la ecuación 5.9, o bien por la *Tabla 5.5*.

$$k = 1 - 1.64 \cdot \left(\frac{\varphi \cdot \pi}{180} \right)^2 \quad (5.9)$$

Donde:

k : Factor de inclinación de la banda. [-]

φ : Ángulo de inclinación de la banda. [°]

La capacidad de transporte en toneladas por hora, se obtiene multiplicando la capacidad volumétrica por el peso específico del material transportado (ecuación 5.10).

$$Q_m = \gamma \cdot Q_v \quad (5.10)$$

Donde:

Q_m : Capacidad de transporte de la banda. [t / h]

Q_v : Capacidad volumétrica de la banda. [m³ / h]

γ : Peso específico del material transportado. [t / m³]

5.3.4 Potencias parcial de la banda

Los esfuerzos a los que está sometida la banda transportadora en funcionamiento, varían a lo largo de su recorrido. Para dimensionar y calcular la potencia necesaria, es obligatorio determinar la tensión que actúan en la sección de mayor esfuerzo, en particular para bandas transportadoras que presentan características como inclinaciones superiores a 5°, recorridos descendentes o longitudes excesivamente elevadas.

Para llevar a cabo la determinación de la potencia se deben considerar por separado tres tipos diferentes:

Potencia para mover la cinta en vacío y cargada con desplazamiento horizontal

La primera representa la potencia necesaria para mover la cinta en vacío, y la potencia necesaria para mover la cinta cargada con desplazamiento horizontal. Esto corresponde con el esfuerzo necesario para vencer el rozamiento producido por los rodillos, por los tambores y por el peso de la banda cuando va cargada (ver ecuación 5.11).

$$P_1 = \frac{C_b \cdot v + Q_m}{C_l \cdot k_f} \quad (5.11)$$

Donde:

C_b : Factor de ancho de banda (ver Tabla 5.7). [kg / m]

v : Velocidad de la banda [m / s]

Q_m : Capacidad de transporte de la banda [t / h]

C_l : Factor de longitud de la banda (ver Tabla 5.8). [m⁻¹]

k_f : Factor de servicio (ver Tabla 5.9).

[-]

Los siguientes valores tabulados, son valores empíricos realizados por la empresa Dunlop. [2].

Tabla 5.7: Factor de ancho de banda C_b [2].

Peso específico γ [t / m ³]	Ancho de Banda [mm]											
	300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
$\gamma \leq 1$	31	54	67	81	108	133	194	227	291	-	-	-
$1 < \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277	320	468	554	691	745
$\gamma > 2$	-	65	86	103	144	241	360	414	644	727	957	1033

Tabla 5.8: Factor de longitud de banda C_l [2].

Longitud [m]	3	4	5	6	8	10	1,5	16	20
C_L	667	625	555	526	454	417	370	323	286
Longitud [m]	25	32	40	50	63	80	90	100	150
C_L	250	222	192	167	145	119	109	103	77
Longitud [m]	200	250	300	350	400	450	500	550	600
C_L	63	53	47	41	37	33	31	28	26
Longitud [m]	700	800	900	1000	1500	2000	>2000		
C_L	23	20	18	17	12	9	8		

Tabla 5.9: Factor de servicio, según condiciones de trabajo k_f [2].

Condiciones de Trabajo	k_f
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades	1,17
Normal, condiciones estándar.	1
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad.	0,87-0,74
Temperaturas extremadamente bajas.	0,57

Potencia para elevar la carga a cierta altura

La siguiente potencia es la necesaria para elevar el material hasta una cierta altura, o en caso de cinta descendente, la potencia generada necesaria para frenar el descenso del material.

$$P_2 = \frac{H \cdot Q_m}{367} \quad (5.12)$$

Donde:

H : Altura de la banda transportadora. [m]

Q_m : Capacidad de transporte de la banda [t / h]

Potencia necesaria para vencer rozamientos de trippers, dispositivos de limpieza y guías

La última de las potencias, es la necesaria para vencer las resistencias generadas por elementos secundarios, como son descargadores (*Trippers*), dispositivos de limpieza, y guías de carga o faldones (ver Tabla 5.10).

$$P_3 = \Sigma (P_a + P_b + P_c) \quad (5.13)$$

Donde:

P_a : Potencia debida los trippers. [Kw]

P_b : Potencia debida a los dispositivos de limpieza. [Kw]

P_c : Potencia debida a dispositivos guías de carga y faldones. [Kw]

Tabla 5.10: Potencias adicionales necesarias para otros dispositivos [2]

POTENCIA ADICIONALES		
Trippers, <i>Pa</i>	Ancho de Banda [m]	Potencia [Kw]
	≤ 500	0,8·v
	≤ 1000	1,5·v
	> 1000	2,3·v
Dispositivos de limpieza <i>Pb</i>	Tipo de contacto/ Presión	
	Contacto Simple	0,3·B·v
	Contacto de Presión elevada	1,5·B·v
Guías de Carga <i>Pc</i>	Longitud Lf [m]	
	Desde punto de carga	0,16·v·Lf

Donde:

B : Ancho de banda. [m]

v = Velocidad. [m / s]

L_f = Longitud de la guías o faldones. [m]

Potencia total (parcial)

La suma de todas las potencias anteriormente descritas constituye la potencia total necesaria para que la banda tenga un funcionamiento correcto (ecuación 5.14). El valor calculado de potencia *no es definitivo* pero si válido para tener una orientación del mismo. Después se debe ajustar su valor dependiendo del tipo de banda seleccionada y los tipos de rodillos utilizados (peso de éstos y longitudes), pues será necesario conocer el valor de la resistencia a tracción de la banda y la fuerza tangencial de la misma para poder afinar con mayor precisión dicho valor.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \quad (5.14)$$

Los métodos para conectar el motor con el tambor motriz son numerosos. La alta velocidad de giro producida por el motor, puede reducirse mediante la utilización de poleas, cadenas, engranajes, cajas reductoras, o alguna combinación de estas. Estas transmisiones generan pérdidas mecánicas que deben ser consideradas para determinar la potencia real del motor. Por lo tanto, para obtener la potencia que requiere el motor se debe considerar el rendimiento " η " y la eficiencia " ε " de la transmisión. El rendimiento del motor se puede estimar en un rango entre 85% y 95%, mientras que eficiencias mecánicas de equipos reductores de velocidad pueden verse en la *Tabla 5.11*.

Tabla 5.11: Eficiencia de los diferentes mecanismos reductores [2].

Tipo de mecanismo reductor	Eficiencia
Poleas y bandas en V	94%
Cadena de rodillos	93%
Cadena de rodillos lubricados en aceite	95%
Reductor de engranajes helicoidales, una reducción	95%
Reductor de engranajes helicoidales, doble reducción	94%
Reductor de engranajes helicoidales, triple reducción	93%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1)	90%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1 a 60:1)	70%
Reductor de tronillo sin fin (relación 60:1 a 100:1)	50%
Reductor de engranajes rectos (mecanizados)	90%
Reductor de engranajes rectos (fundidos)	85%

El procedimiento a seguir para calcular este valor se muestra en la ecuación 5.15.

$$PM = \frac{PT}{\eta \cdot \varepsilon} \quad (5.15)$$

Donde:

η : Rendimiento del motor. [%]

ε : Eficiencia mecánica de reductores. [%]

La potencia nominal necesaria para la banda vendrá normalizada de acuerdo a la norma HD 231 de CENELC (ver *Tabla 5.12*).

Tabla 5.12: Potencia de motores, valores normalizados (Kw) [2].

Valores de las potencias de los motores normalizadas. HD 231 de CENELC						
1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11
15	18,5	22	30	37	45	55
75	90	110	132	160	200	250
315	355	400	500	560	630	

5.3.4 Resistencia mínima a tracción de la banda

El motivo por el cual se debe calcular primero una potencia parcial (no definitiva) y luego ajustar dicho valor, se debe a la necesidad de calcular la resistencia mínima que debe soportar la banda a tracción para poder partir de un valor orientativo y conocer así cuales son las condiciones mínimas que debe cumplir la banda a seleccionar. Para ello se debe calcular la resistencia de tracción mínima que debe soportar la banda de acuerdo con el valor de potencia calculado en el apartado anterior y la ecuación 5.16. Esta determina el esfuerzo a tracción a la que está sometida la banda. Para ello, se hace uso de una serie de factores experimentales llevado a cabo por el fabricante *Dunlop* [2].

$$k = \frac{C_R \cdot P_T}{C_v \cdot v} \quad (5.16)$$

Donde:

k : Tensión de tracción a la cual está sometida de la banda. [N/mm]

P_T : Potencia total (parcial). [Kw]

v : Velocidad de la banda. [m / s]

C_R : Factor de fricción según la superficie del tambor (Tabla 5.13).

C_v : Factor de pérdida de resistencia a tracción según el tipo de banda (número de telas) (Tabla 5.14).

Tabla 5.13: Coeficiente de fricción según superficie de tambor C_R [2].

FACTOR DE FRICCIÓN C_R													
Superficie del tambor motriz	Coeficiente de fricción μ	Ancho de banda [mm]											
		300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Sin recubrimiento y mojado	0,15	98	74	59	45	37	30	25	21	18	16	15	14
Recubierto con goma, mojado y sucio	0,3	62	46	37	28	23	18	15	13	12	10	9	8
Sin recubrimiento y seco	0,35	57	43	34	26	21	17	14	12	11	9	8	8
Con recubrimiento de goma y seco	0,4	53	40	32	25	20	16	13	11	10	9	8	7

Tabla 5.14: Factor de pérdida de resistencia a tracción según empalme/nº de telas C_v .

Tipo de banda DUNLOP	Tipo de empalme por número de telas		Factor C_v
DUNLOPFLEX	2 capas superpuestas	Al 100%	1
	2 capas superpuestas	Al 50%	0,5
TRIOFLEX	3 capas superpuestas	Al 100%	1
	2 capas superpuestas	Al 67%	0,67
SUPERFORT	Número de capas	1	0,7
		2	0,5
		3	0,67
		4	0,75
		5	0,8
		6	0,83
FERROFLEX	Zig-Zag	-	0,9
STEELCORD	Número de escalones	1-2	1
		3	0,95
		4	0,9

Las características de cada uno de los tipos de banda están recogidas al final del presente documento en el Anexo 1.

Una vez conocido el valor del esfuerzo a tracción al que está sometida la banda, se determina su valor normalizado (ver Tabla 5.15).

En el siguiente cuadro, se detalla la descripción resumida de la banda conforme a las normas internacionales establecidas, donde se observa las principales características de la banda.

100 m	800 mm	EP (Superford)	400/3	4+2 mm	X
-------	--------	----------------	-------	--------	---

Donde:

100: Longitud de la banda. [m]

800: Ancho de banda. [mm]

EP (Superford): Tipo de banda seleccionada (ver Anexo 1).

400: Resistencia a tracción que soporta la banda. [N/mm]

/3: Número de capas.

4+2: Espesor de las capas. [mm]

X: Calidad de recubrimiento.

Tabla 5.15: Resistencias nominales de bandas textiles [2].

Resistencias nominales de las bandas textiles [N/mm]						
125	160	200	250	315	400	500
630	800	1000	1250	1600	2000	2500

El espesor de los recubrimientos (en las bandas del fabricante *Dunlop*), viene implícita en muchos de sus modelos, en cambio, aún así, su determinación depende de factores como, el grado de abrasividad del material, el tamaño de grano máximo y el tiempo de recorrido de la banda, medido en minutos. Todas estas características vienen definidas en el capítulo 3 del presente documento.

Para determinar el espesor de los recubrimientos, se pueden consultar la *Tabla 5.16*, que recoge el espesor de los recubrimientos superiores en función de los parámetros anteriormente citados, y la *Tabla 5.17*, que recoge los espesores de los recubrimientos inferiores, seleccionándose a partir de los recubrimientos superiores.

Tabla 5.16: Espesor de los recubrimientos superiores [14].

ESPESOR DE RECUBRIMIENTO SUPERIOR RECOMENDADO (MM.)									
	Abrasión Alta/Muy Alta			Abrasión Media/Alta			Sin Abrasión		
Tamaño en mm	0-50	50-150	>150	0-50	50-150	>150	0-50	50-150	>150
Tiempo de Recorrido									
< 0,2 minutos	5-6	6-8	8-10	3-5	5-6	6-8	2-3	3-4	4-6
0,2-0,4 minutos	4-5	5-6	6-8	3-4,5	>=5	>=6	2-2,5	2,5-4	4-5
0,4-1 minutos	4-5	>=6	>=8	3-4	4-5	5-6	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4
1-5 minutos	3-5	5-6	7-8	3-5	4-5	5-6	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4
> 5 minutos	3-5	5-6	7-8	3-5	4-5	5-6	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4

Tabla 5.17: Espesor de los recubrimientos inferiores [14].

Superiores	Inferiores
2 - 3	1,5
4	2
6	1,5 - 3
8 - 10	2 - 3

Para el último de los datos, los tipos de recubrimientos a considerar, son los que se muestran en la *Tabla 3.3* del capítulo 3.

5.3.5 Cálculo de la resistencias al movimiento de la banda

5.3.5.1 Generalidades

Una vez realizado los cálculos anteriores, se debe corroborar que los valores obtenidos son validos y comprobar que el diseño es correcto. Para ello se parte del cálculo de las resistencias al movimiento de la banda.

Las fórmulas empleadas para el cálculo de las resistencias al movimiento se pueden clasificar en tres grandes grupos.

El primer de ellos se puede llamar fórmulas de la escuela anglosajona, vienen expresadas en unidades no métricas y principalmente son las siguientes:

- ✓ Fórmulas de GOODYEAR.
- ✓ Fórmulas de HEWITT ROBBINS.
- ✓ Fórmulas de MECO.

El segundo de los tres grupos, corresponde con el que se analiza en este Proyecto Fin de Carrera (tratándose los tres primeros), pues son los métodos empleadas en Europa y posiblemente en el resto de mundo.

- ✓ Método DIN 22101.
- ✓ Método ISO 5048.
- ✓ Método UNE 58204.
- ✓ Método CEMA.
- ✓ Método MHEA.

Por último se encuentra el grupo de las resistencias separadas, en el que las fórmulas fueron establecidas por una serie de investigadores a lo largo de la historia. desde las fórmulas de LACHMANN hasta las fórmulas de JONKERS.

La Norma DIN 22101 clasifica las resistencias al movimiento de la siguiente forma:

- ✓ F_H : Resistencias principales.
- ✓ F_N : Resistencias secundarias.
- ✓ F_S : Resistencias especiales.
- ✓ F_{ST} : Resistencias de inclinación o descenso.

La resistencia total al movimiento será la suma de las 4 citadas anteriormente.

5.3.5.2 Determinación de las resistencias principales (DIN 22101)

La resistencias principales (*ver ecuación 5.17*), corresponden con las resistencias que se producen por la fricción existente entre los rodamientos de los rodillos y las juntas de los mismos. Además de la resistencia que aparece por el propio avance de la banda, debida al rozamiento entre la propia banda, los tambores y los rodillos, tanto para la banda cargada (rodillos superiores), como para la banda descargada (rodillos de retorno).

$$F_H = f \cdot L \cdot g \cdot [m'R + (2 \cdot m'G + m'L) \cdot \cos \delta] \quad (5.17)$$

Donde:

F_H : Resistencias principales. [N]

f : Coeficiente de fricción. [-]

L : Longitud de la banda.	[m]
g : Aceleración gravitacional.	[m / s ²]
m'_R : Masa de los Rodillos por unidad de longitud.	[Kg/m]
m'_G : Masa de la banda por unidad de longitud.	[Kg/m]
m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud.	[Kg/m]
δ : Ángulo de inclinación de la banda.	[°]

El valor del coeficiente de fricción " f "

Las resistencias mencionadas anteriormente se deben básicamente a la fricción generada por el peso de la banda y por el peso de las partes móviles (rodillos y tambores). Junto con el peso del material a transportar y la fricción interna que el material genera a medida que pasa una y otra vez sobre los rodillos.

El cálculo de estas fuerzas de fricción depende del llamado coeficiente de fricción de las partes móviles f , este varía en función del tipo de rodillos empleados, la estructura de la banda y el mantenimiento del sistema. El valor estándar de este coeficiente es de 0.020, pero puede incrementarse según las siguientes condiciones:

- ✓ Debido a una alta fricción interna del material.
- ✓ Debido a la utilización de rodillos portantes menores a 108 mm de longitud.
- ✓ Cuando la velocidad de la banda es mayor a 5 m/s.
- ✓ Cuando la temperatura de operación es menor a 20°C.
- ✓ Cuando las tensiones en la banda son bajas.
- ✓ En bandas flexibles y con grandes espesores de cubierta.

La *Tabla 5.18* muestra los valores recomendados de coeficiente de fricción de las partes móviles en función de las condiciones de operación, mantenimiento y estanqueidad.

Tabla 5.18: Coeficiente de fricción de las partes móviles [14].

CONDICIONES DE OPERACIÓN	Coeficiente f
Bandas transportadoras descendentes que requieren frenado mediante motor.	0,012
Condiciones favorables con buenas bandas transportadoras con rodillos de marcha suave y pequeña fricción en el material	0,017
Condiciones con ambiente normal de trabajo	0,02
Condiciones de marcha desfavorables con ambientes polvorientos y sobrecargas periódicas.	0,023-0,03

Masas de la banda

La masa de la banda, debe ser proporcionada por el fabricante (*Anexo 1*). No obstante, para mayor comodidad, la *Tabla 5.18* recogen la masa de las bandas de tipo *Dulopflex* y *Trioflex* [2]. Para determinar la masa total de la banda, será necesario sumar el valor de la masa de la carcasa y la masa de los recubrimientos (dependiendo de su espesor), quedando en $[Kg/m^2]$.

Tabla 5.18: Masas de las bandas según el tipo [2].

TIPO DE BANDA	ESPESOR DE LA CARCASA [mm]	MASA DE LA CARCASA $[Kg/m^2]$	MASA TOTAL DE LA BANDA $m''G$ $[Kg/m^2]$					
			SUMA TOTAL DE LOS RECUBRIMIENTOS [mm]					
			4	5	6	8	10	12
D 160	2.3	2.7	7.3	8.5	9.6	11.9	14.2	16.5
D 200	2.7	3.1	7.7	8.9	10.0	12.3	14.6	16.9
D 250	3.0	3.6	8.2	9.4	10.5	12.8	15.1	17.4
D 315	3.2	3.7	8.3	9.5	10.6	12.9	15.2	17.5
D 400	3.7	4.3	8.9	10.1	11.2	13.5	15.8	18.1
D 500	4.1	4.7	9.3	10.5	11.6	13.9	16.2	18.5
D 630	4.5	5.0	9.6	10.8	11.9	14.2	16.5	18.8
D 800	4.8	5.5	10.1	11.3	12.4	14.7	17.0	19.3
T 315	4.0	4.8	9.4	10.6	11.7	14.0	16.3	18.6
T 400	4.4	5.3	9.9	11.1	12.2	14.5	16.8	19.1
T 500	5.0	5.9	10.5	11.7	12.8	15.1	17.4	19.7
T 630	5.5	6.5	11.1	12.3	13.4	15.7	18.0	20.3
T 800	6.0	7.2	11.8	13.0	14.1	16.4	18.7	21.0
T 1000	6.5	7.8	12.4	13.6	14.7	17.0	19.3	21.6
T 1250	7.2	8.1	12.7	13.9	15.0	17.3	19.6	21.9

Para calcular la masa de la banda por unidad de longitud, (m'_G) se debe multiplicar la masa total de la banda, dada en m^2 , ($m''G$), por el ancho de la misma (*ver ecuación 5.18*).

$$m'_G = m''G \cdot B \quad (5.18)$$

Masa de los rodillos

Para el cálculo de la masa de los rodillos, se debe diferenciar la masa que corresponde a los rodillos superiores y la masa que corresponde con los rodillos de retorno (*ver Tabla 5.19*).

$$m'_R = \frac{m_{Ro}}{l_o} + \frac{m_{Ru}}{l_u} \quad (5.19)$$

Donde:

m_{Ro} : Masa de uno de los conjuntos de rodillos superiores. $[Kg / m]$

m_{Ru} : Masa de uno de los conjuntos de rodillos inferiores. $[Kg / m]$

l_o : Separación entre dos estaciones de rodillos superiores. [m]

l_u : Separación entre dos estaciones de rodillos inferiores. [m]

Los valores de " l_o " y " l_u ", pueden ser calculados como se establece a continuación en las ecuaciones 5.20 y 5.21, y con ayuda de la Figura 5.8, o bien, para una mayor comodidad, se presentan sus valores en la Tabla 5.20.

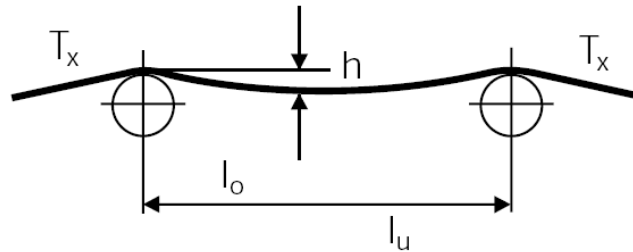


Figura 5.8: Distancia entre estaciones de rodillos [2].

$$l_o = \frac{T_x \cdot 8 \cdot h}{(m'_L + m'_G) \cdot g} \quad (5.20)$$

$$l_u = \frac{T_x \cdot 8 \cdot h}{(m'_G) \cdot g} \quad (5.21)$$

Donde:

T_x : Tensión que existe en un punto X de la banda. [m]

h : Flecha que se forma en la banda. Se considera: 1%.

Para estaciones superiores: $h=0.005-0.015$

Para estaciones inferiores: $h=0.02-0.03$

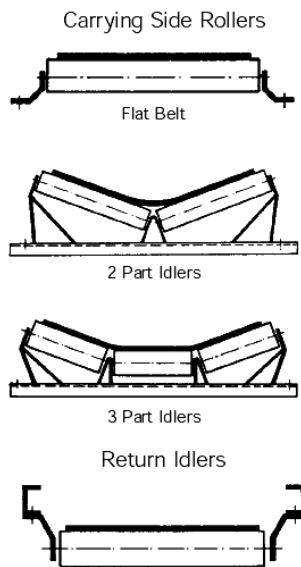
g : Aceleración gravitacional. [m / s²]

m'_R : Masa de los rodillos por unidad de longitud. [Kg/m]

m'_G : Masa de la banda por unidad de longitud. [Kg/m]

m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud. [Kg/m]

Tabla 5.19: Masas los rodillos m'_R [2].



Ancho de Banda [mm]	Configuración de los Rodillos	Diámetro de los rodillos [mm]							
		51	63.5	88.9	108	133	159	193.7	219.1
300	flat 2 part	1.6 2.3	2.2 3.4	3.2 4.1					
400	flat 2 part 3 part	2.0 2.6 2.9	2.7 3.7 4.4	3.9 4.7 5.4	5.6 6.6 7.3				
500	flat 2 part 3 part	2.2 2.8 3.2	3.2 4.1 4.6	4.5 5.5 6.1	6.6 7.8 8.4				
650	flat 2 part 3 part		4.0 4.7 5.4	5.5 6.3 7.0	8.0 9.0 9.8	10.8 12.1 13.1			
800	flat 2 part 3 part		4.7 5.6 6.5	6.7 7.4 8.3	9.8 10.6 11.6	13.3 14.2 15.6			
1000	flat 2 part 3 part			9.4 11.3 13.0	11.7 13.2 13.6	15.9 17.8 18.2	21.9 24.7 26.3		
1200	flat 2 part 3 part				14.2 15.0 16.3	19.3 20.5 22.3	26.1 28.0 24.5		
1400	flat 2 part 3 part					21.8 23.3 25.0	29.3 31.6 35.5		
1600	flat 2 part 3 part					25.1 26.5 28.0	33.4 35.0 38.7		
1800	flat 2 part 3 part					27.6 29.1 30.7	37.8 39.5 42.4		
2000	flat 2 part 3 part					30.2 31.8 33.3	40.2 43.3 47.0	69.1 76.4 80.1	
2200	flat 2 part 3 part						46.5 49.0 50.1	77.8 82.6 93.2	88.0 97.1 111.0

Como se puede comprobar en esta *Tabla 5.19*, es necesario conocer el valor del diámetro de los rodillos a utilizar, estos diámetros están normalizados como se vio en el capítulo 3, en la *Tabla 3.5*.

La selección del diámetro de los rodillos dependerá de la velocidad de giro de los mismos, no pudiendo ser nunca superior a 650 r.p.m. Mediante la ecuación 5.22 se determina la velocidad de los rodillos.

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot Dr} \quad (5.22)$$

Donde:

n : Velocidad de los rodillos. [r.p.m.]

v : Velocidad de la banda. [m / s]

Dr : Diámetro de los rodillos. [m]

Cuando la longitud es mayor de 250 m, en las estaciones de retorno es aconsejable usar una disposición de rodillos en V. En el programa se ha considerado esta condición.

Tabla 5.20: Separación entre dos estaciones consecutivas de rodillos [14].

Ancho de Banda [mm]	Separación entre dos estaciones de rodillos superiores S1 [m]										Separación de estaciones, rodillos inferiores S2 [m]
	Peso específico [t/m³]										
	0,5	0,8	1	1,4	1,6	2,4	3,2	4	5	>6	
400	1,7	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2	0,9	0,7 5	3
500	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	1	0,9	0,6	3
650	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9	0,5	3
800	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1	1	0,9	0,9	0,5	3
1000	1,4	1,4	1,2	1,2	1	0,9	0,9	0,9	0,75	0,5	3
1200	1,4	1,4	1,2	1,2	1	0,9	0,9	0,9	0,75	0,5	3
1400	1,4	1,2	1,2	1	1	0,9	0,9	0,75	0,75	0,5	3
1600	1,2	1,2	1,2	1	0,9	0,9	0,9	0,75	0,6	0,5	3
1800	1,2	1	1	1	0,9	0,75	0,75	0,6	0,5	0,5	2,4
2000	1,2	1	1	1	0,9	0,75	0,75	0,6	0,5	0,5	2,4
2200	1	1	1	0,9	0,75	0,75	0,6	0,5	0,5	0,5	2,4

Masas de las partes móviles

La masa de las partes móviles por unidad de longitud del sistema completo de la banda transportadora, lo constituyen la masa de la banda (m'_G) y la masa de los rodillos transportadores y de retorno (m'_R).

Masa de la carga a transportar

El valor de la masa de la carga a transportar por unidad de longitud se determina de acuerdo con la ecuación 5.23.

$$m'_L = \frac{Qm}{3.6 \cdot v} \quad (5.23)$$

Donde:

m'_L : Masa de la carga a transportar por unidad de longitud. [Kg / m]

Q_m : Es la capacidad de la banda. [t / h]

v : Velocidad de la banda. [m / s]

5.3.5.3 Resistencias secundarias (DIN 22101)

Las resistencias secundarias, se producen generalmente en la zona de carga, por causas como la aceleración del material en este punto, la resistencia debida a la fricción en las paredes laterales de la tolva de alimentación, la resistencia debido al efecto de enrollamiento de la banda en los tambores y por las resistencias de los cojinete de los tambores. Para determinar su valor (cuando la banda es $\geq 80m$), se calcula mediante la ecuación 5.24.

$$F_N = (C - 1) \cdot F_H \quad (5.24)$$

Donde:

F_N : Resistencia secundaria. [N]

F_H : Resistencias principales. [N]

C : Coeficiente de corrección de longitud. [-]

Con instalaciones normales de poca longitud y con un punto de carga, las resistencias secundarias se pueden calcular utilizando un factor C , como parte de las resistencias principales, según establece la norma DIN 22101. El factor C depende de la longitud de transporte y se puede tomar de la *Tabla 5.21*, o bien mediante las ecuaciones 5.25 y 5.26.

$$C = 1 + \frac{80}{L} \quad \text{Para } 80 \leq L \leq 140 \quad (5.25)$$

$$C = 1 + \frac{90}{L} \quad \text{Para } L > 140 \quad (5.26)$$

Donde:

L : Longitud de la banda. [m]

Estas ecuaciones se determina a partir de la gráfica de la *Figura 5.9*, que muestra variación del coeficiente C en función de la longitud de la banda como establece la norma DIN 22101.

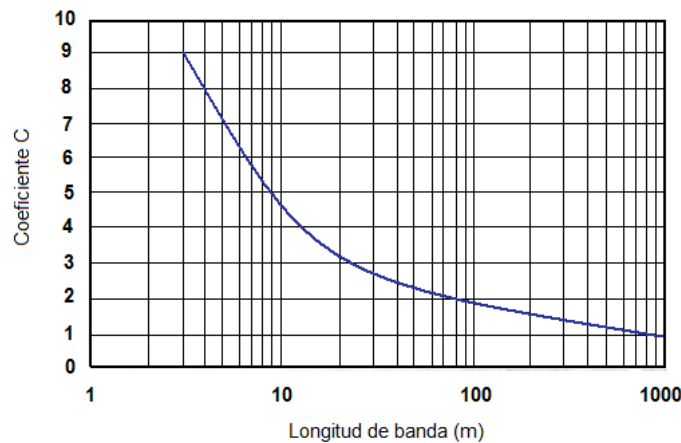


Figura 5.9: Gráfico del los valores del coeficiente C [2].

Tabla 5.21: Valores del coeficiente C para cintas transportadoras.

Long. Banda [m]	3	4	5	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63
C	9	7,6	6,6	5,9	5,1	4,5	4	3,6	3	2,9	2,6	2,4	2,2	2
Long. Banda [m]	80	90	100	120	140	160	180	200	250	300	350	400	450	500
C	1,92	1,86	1,78	1,7	1,63	1,56	1,5	1,45	1,38	1,31	1,27	1,25	1,22	1,2
Long. Banda [m]	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500	5000					
C	1,17	1,14	1,12	1,1	1,09	1,06	1,05	1,04	1,03					

La resistencia secundaria, cuando la longitud cumple con las condiciones anteriores, queda definida de forma desarrollada como demuestra la ecuación 5.27.

$$F_H + F_N = f \cdot C \cdot g \cdot [m' R + (2 \cdot m' G + m' L) \cdot \cos \delta] \quad (5.27)$$

Si las resistencias secundarias, respecto a las resistencia total (suma de resistencias principales, secundarias, especiales y por inclinación) es un valor elevado, como por ejemplo con los transportadores de menos de aproximadamente 80 m de largo y con varios puntos de carga, será necesario calcular las resistencias secundarias por separado, mediante las ecuaciones que se detallan a continuación.

Resistencia producida por la fricción y la inercia del material en la zona de carga y incluyendo el rozamiento del material sobre las paredes de las canaletas (5.28)

$$F_{ba} = \frac{Qm \cdot (v - v_o)}{3.6} \quad (5.28)$$

Resistencia de los cojinetes de los tambores, a excepción de los tambores de accionamiento (5.39) y (5.30)

✓ Para bandas Textiles:

$$F_I = 9 \cdot B \cdot (140 + 0.01 \cdot F/B) \cdot d/D \quad (5.29)$$

✓ Para bandas con cable de acero:

$$F_I = 12 \cdot B \cdot (200 + 0.01 \cdot F/B) \cdot d/D \quad (5.30)$$

Resistencia debida al efecto de enrollamiento de la banda sobre los tambores (5.31)

$$F_I = 0.005 \cdot d/D \cdot F_T \quad (5.31)$$

Donde:

Q_m : Capacidad de transporte de la banda. [t / h]

v : Velocidad de la banda. [m / s]

v_o : Velocidad de alimentación. [m / s]

B : Ancho de banda. [m]

F : Tensión media de la banda. [N]

d_0 : Diámetro del eje del tambor motriz. [m]

D : Diámetro del tambor. [m]

F_T : Fuerzas aplicadas sobre el tambor motriz. [N]

Este último caso no se ha desarrollado en el programa, pues la mayoría de las ocasiones se consideran longitudes superiores a 80 m.

5.3.5.4 Resistencias debidas a la inclinación (DIN 22101)

En este caso, las resistencias que aparecen cuando se tiene una banda inclinada, se determinan de acuerdo a la ecuación 5.32.

$$F_{st} = H \cdot g \cdot m' L \quad (5.32)$$

Donde:

g : Aceleración gravitacional. [m / s²]

m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud. [Kg/m]

H : Desnivel entre el tambor de cabeza y cola.

$H < 0$ Cuando se tiene una cinta en descenso. [m]

$H > 0$ Cuando se tiene una cinta en ascenso. [m]

5.3.5.5 Resistencias especiales (DIN 22101)

La norma ISO 5048 y la UNE 58204 considera las resistencias especiales por separado, siendo éstas las resistencias especiales primarias y secundarias, pero respecto a la DIN 22101 las considera en conjunto.

Las resistencias especiales " F_s " son producidas por componentes de la instalaciones tales como rodillos, dispositivos de limpieza, descargadores y dispositivos guías de la banda (faldones de las canaletas). Su cálculo se lleva a cabo mediante la ecuación 5.33.

Resistencias de convergencia debida al desalineamiento de los rodillos portantes en sentido de la marcha

$$F_{s1} = Z_{RST} \cdot C' \cdot \mu' \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\epsilon) \cdot (m'_G + m'_L) \quad (5.33)$$

Donde:

Z_{RST} : Número de rodillos inclinados que componen la estación.

C' : Factor de carga. Para ángulos de artesa $\lambda = 30^\circ \rightarrow C = 0.4$

Para ángulos de artesa $\lambda = 45^\circ \rightarrow C = 0.5$

μ' : Coeficiente de rozamiento entre la banda y rodillos 0.2 - 0.4

ε : Ángulo de convergencia. Máximo valor. 4°

δ : Ángulo de inclinación de la banda. $[\circ]$

m'_G : Masa de la banda por unidad de longitud. $[\text{Kg/m}]$

m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud. $[\text{Kg/m}]$

Resistencia debida al rozamiento contra los faldones de las canaletas de alimentación o contra las guías longitudinales de la banda (5.34) y (5.35)

✓ Cuando Actúan en la totalidad de la longitud de la banda:

$$F_{sch} = \left(\frac{C'' \cdot Qm^2 \cdot \mu''}{1316 \cdot \gamma \cdot v^2} \right) \cdot l' / bo^2 \quad (5.34)$$

✓ Cuando Actúa únicamente sobre una parte de la longitud de la banda:

$$F_{sch} = B \cdot K_a \quad (5.35)$$

Donde:

B : Ancho de banda. $[m]$

K_a : Factor de respaldo. $[1500]$

Q_m : Capacidad de la banda. $[t/h]$

μ'' : Coeficiente de rozamiento entre el material y los faldones. 0.25-0.6.

γ : Peso específico del material transportado. $[t/m^3]$

v : Velocidad de la banda. $[m/s]$

l' : Longitud de los faldones o canaletas. $[m]$

bo : Separación existente entre los faldones y la banda. 20 - 30 $[mm]$

C'' : Factor por ángulo de sobrecarga.

$\beta = 5^\circ \rightarrow C = 0.83$

$\beta = 10^\circ \rightarrow C = 0.7$

$\beta = 15^\circ \rightarrow C = 0.59$

$\beta \geq 20^\circ \rightarrow C = 0.49$

Resistencias debida al rozamiento de los dispositivos de limpieza de tambores y banda

$$F_{GR} = \mu''' \cdot p \cdot A \quad (5.36)$$

Donde:

μ''' : Coeficiente de rozamiento entre disp. de limpieza y banda. 0.6-0.75

p : Presión entre la banda y el dispositivo de limpieza. $[N/mm^2]$

A : Área de contacto efectiva entre banda y disp. de limpieza. $[mm^2]$

La suma total de todas las resistencias especiales queda indicada de forma simplificada como " F_s " (ver ecuación 5.37).

$$F_s = F_{s1} + F_{sch} + F_{GR} \quad (5.37)$$

5.3.6 Fuerzas tangenciales en régimen permanente

Una vez que ya se conocen las resistencias que se oponen al movimiento de la banda, se puede definir y calcular el valor de la fuerza tangencial o periférica de la misma.

El esfuerzo tangencial total " F_U ", de la periferia del tambor motriz (o compartida a través de de varios tambores motrices), es el esfuerzo tangencial total necesario para poder vencer todas las resistencias que se oponen al movimiento constituidas por las resistencias anteriormente calculadas.

El esfuerzo tangencia total F_U vendrá dado por las siguientes ecuaciones:

$$F_U = F_H + F_N + F_{st} + F_{s1} + F_{sch} + F_{GR} \quad (5.38)$$

$$F_U = C \cdot f \cdot L \cdot g \cdot [m'_R + (2 \cdot m'_G + m'_L) \cdot \cos \delta] + H \cdot g \cdot m'_L + F_s \quad (5.39)$$

Donde:

C : Coeficiente de corrección de longitud. $[-]$

f : Coeficiente de fricción. $[-]$

L : Longitud de la banda. $[m]$

g : Aceleración gravitacional. $[m/s^2]$

m'_R : Masa de los rodillos por unidad de longitud. $[Kg/m]$

m'_G : Masa de la banda por unidad de longitud. $[Kg/m]$

m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud. $[Kg/m]$

δ : Ángulo de inclinación de la banda. $[^\circ]$

H : Desnivel entre el tambor de cabeza y cola.

$H < 0$ Cuando se tiene una cinta en descenso. [m]

$H > 0$ Cuando se tiene una cinta en ascenso. [m]

5.3.6 Fuerzas tangenciales en estado no estacionario

En un estado de funcionamiento no estacionario, la fuerza tangencial o periférica " F_A " debe de verificar unas condiciones particulares. Esto se debe a que en el momento de la puesta en marcha de una banda transportadora, es necesario una aportación de fuerza o de par suplementario respecto al régimen permanente, con el fin de acelerar todas las masas de la misma. En el momento del arranque, la aceleración debe mantenerse por debajo de un cierto valor para que la banda no patine, o en su defecto, deberá mantenerse por encima de un cierto valor para que la banda no forme bucles a la hora de frenar.

Algunas de las condiciones que se deben cumplir en este estado de funcionamiento son:

- ✓ La fuerza tangencial no estacionaria " F_A " máxima no debe ser mayor que aproximadamente 1,3 a 1,5 el valor de la fuerza tangencial en régimen normal de trabajo " F_U ".
- ✓ Con el fin de disponer de una reserva de fuerza, será necesario que esté disponible una fuerza (para el arranque) mínima del 20% del valor total.
- ✓ Se tendrá en cuenta, que la fuerza tangencia " F_A " será aplicada a la banda durante un periodo de tiempo determinado.
- ✓ En la puesta en marcha, con una aceleración " a_A " y una fuerza " F_A ", se deberá conocer el valor límite de fricción entre el material y la banda, para determinar si existe deslizamiento de material sobre la misma.

Como se indica en el apartado anterior, en el momento del arranque, las fuerzas tangenciales se verán incrementadas. Para determinar el valor de ese incremento, se establece un factor " K_A ", de puesta en marcha. Este factor dependerá principalmente del grupo motriz (concretamente viene dado de acuerdo con el tipo de acoplamiento establecido en el conjunto motriz).

A continuación se detallarán los diferentes tipos de acoplamientos más comunes, junto al procedimiento del cálculo de la fuerza tangencial en el arranque, para cada uno de los ellos (ver ecuaciones 5.40, 5.41 y 5.42).

5.3.6.1 Acoplamientos rígidos

Son utilizados para instalaciones de poca potencia, en torno a 30 Kw y motores de jaula de ardilla. Viene definida por la ecuación 5.40.

$$F_A = K_A \cdot \frac{P_n \cdot \eta \cdot 1000}{v} \quad (5.40)$$

Donde:

v : Velocidad de la banda. [m / s]

η : Rendimiento del conjunto motor / transmisión. [-]

P_n : Potencia nominal del motor (ver Tabla 5.12). [Kw]

K_A : Factor de puesta en marcha. 2

5.3.6.2 Acoplamiento flexible

Mediante este tipo de acoplamiento se consigue reducir el par producido en el tambor motriz en el momento del arranque. En este caso, la potencia instalada del motor puede ser sustancialmente más alta de lo necesario, por consiguiente " F_A " debe ser menor o igual a 2,5 veces el valor de la fuerza tangencial en estado normal de trabajo " F_U ".

$$F_A = K_A \cdot F_U \cdot P_n \cdot / P_M \quad (5.41)$$

Donde:

F_U : Fuerza tangencial para el estado normal de trabajo. [N]

P_M : Potencia requerida por el motor. [Kw]

P_n : Potencia nominal del motor (ver Tabla 5.12) [Kw]

K_A : Factor de puesta en marcha. 1.2 - 1.5

5.3.6.2 Acoplamiento hidráulico

Mediante este tipo de acoplamientos, el par se puede regular con mayor facilidad gracias a que dispone de un circuito interno en el que se puede modificar su volumen de aceite. Además se puede conseguir un estado de funcionamiento casi constante, dependiendo del tamaño de la instalación.

$$F_A = K_A \cdot F_U \quad (5.42)$$

Donde:

F_U : Fuerza tangencial para el estado normal de trabajo. [N]

K_A : Factor de puesta en marcha. 1.5

5.3.7 Determinación de la potencia final necesaria

Una vez se conoce el valor de la fuerza tangencial para un estado normal de trabajo F_U , se puede determinar fácilmente la potencia necesaria que debe ser transmitida al tambor motriz. De acuerdo con las siguientes ecuaciones definidas entre (5.43) y (5.45), se puede averiguar la potencia que debe transmitir el tambor motriz, la potencia que requiere el motor, y finalmente la selección de la potencia nominal del motor. (Ver Tabla 21).

5.3.7.1 Potencia a transmitir por el tambor motriz

$$P_T = \frac{F_U \cdot v}{1000} \quad (5.43)$$

Donde:

F_U : Fuerza tangencial para el estado normal de trabajo. [N]

v : Velocidad de la banda. [m / s]

5.3.7.2 Potencia requerida por el motor

✓ Para instalaciones donde la $F_U > 0$

$$P_M: P_T / \eta \quad (5.44)$$

Donde:

P_T : Potencia a transmitir por el tambor motriz. [Kw]

η : Rendimiento del conjunto motor / transmisión. [-]

✓ Para instalaciones donde la $F_U < 0$

$$P_M: P_T \cdot \eta \quad (5.45)$$

Donde:

P_T : Potencia a transmitir por el tambor motriz. [Kw]

η : Rendimiento del conjunto motor / transmisión. [-]

5.3.7.3 Selección de la potencia nominal del motor

Como se establece en la Tabla 3.8, de acuerdo con la norma HD 231 CENELC se establecerá el valor de la potencia nominal del motor necesario.

5.4 Transmisión de fuerzas del tambor motriz a la banda

5.4.1 Introducción

Después de calcular la fuerza tangencial " F_U " y la potencia necesaria del tambor motriz " P_T ", se puede determinar la posición y el número de motores necesarios para el funcionamiento correcto de la instalación, así como el sistema de accionamiento más apropiado y favorable, para después estudiar las tensiones en régimen de trabajo normal y en el momento del arranque. A continuación se describe los sistemas de accionamiento más comunes utilizados en las bandas transportadoras.

5.4.2 Sistemas de accionamiento

5.4.2.1 Sistema con un tambor motriz en cabeza

En la *Figura 5.10*, se puede ver la configuración de un tambor motriz en cabeza, este sistema es el más común para transportadores horizontales e inclinados, dando valores de tensión favorables y menores que para el resto de las configuraciones. En caso de ser una bandas transportadoras descendentes, seguirá siendo favorable esta configuración para inclinaciones de 1° o 2° , dando tensiones positivas.

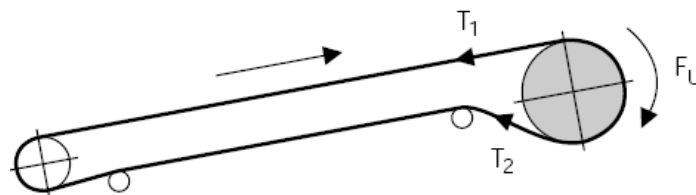
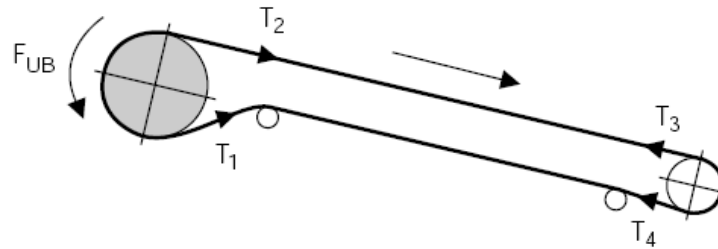


Figura 5.10: Sistema con tambor motriz en cabeza [2].

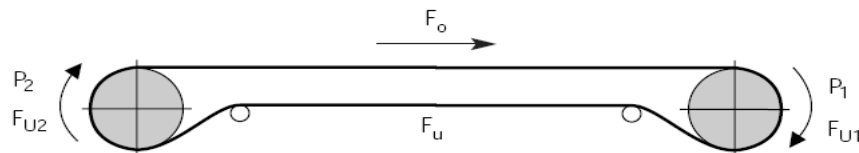
5.4.2.2 Sistema con tambor motriz situado en cola

Cuando la banda transportadora es descendente, las tensiones y la configuración más favorable se obtiene situando el tambor motriz en la zona de cola, pues en este caso el motor se convierte en un generador y actuará como freno. Esta configuración se muestra en la *Figura 5.11*. También se suele utilizar este sistema cuando por motivos de espacio no pueda situarse en cabeza, pero siempre es desaconsejable colocar el tambor motriz en la zona de cola, pues es donde se produce la carga del material y por ello mayores impactos, causando así mayor desgaste en el tambor.

**Figura 5.11:** Sistema con tambor motriz en cola [2].

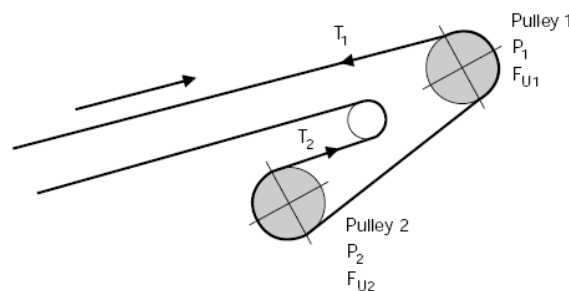
5.4.2.3 Sistema con un tambor motriz en cola y otro en cabeza

Esta disposición es utilizada cuando la instalación presenta grandes resistencias en el retorno de la banda, siendo necesaria la utilización de dos tambores motrices cuyo reparto de potencia no tiene por qué ser igual para cada tambor (ver Figura 5.12). En el siguiente apartado junto a la explicación del sistema con dos tambores en cabeza, se detallará como evaluar la distribución de potencias.

**Figura 5.12:** Sistema con tambor motriz en cola [2].

5.4.2.4 Sistema con dos tambores motriz en cabeza

Cuando son necesarias grandes potencias de accionamiento, la distribución más adecuada es la mostrada en la Figura 5.13. Con este sistema se pueden llegar a conseguir ángulos de abrace de hasta 420° , lo que proporcionará mayor agarre entre tambor y banda.

**Figura 5.13:** Sistema con dos tambores en cabeza [2].

Existen otros sistemas, como utilizar dos tambores motrices en cola, que no suelen ser usados, en ocasiones se usan cuando es necesario el descenso de material excesivamente pesado, siendo inevitable mayor acción de frenado. Otra configuración, puede ser utilizar dos tambores motrices en cabeza y uno en cola. Este tipo de disposición se da cuando las instalaciones necesitan grandes potencias y presentan grandes

resistencias, siendo estas de grandes longitudes. Su comportamiento es similar al sistema con dos tambores motrices en cabeza, pero aportando mayor tracción a la banda por la presencia del tambor en cola.

5.4.3 Distribución de potencias para dos tambores motrices.

5.4.3.1 Potencia para sistema con un tambor motriz en cola y otro en cabeza

La distribución más favorable resulta de completar el sistema de ecuaciones detallado a continuación (5.46).

$$\left. \begin{aligned} P_T &= P_1 + P_2 \\ P_1/P_2 &= x \\ P_2 &= P_T/(x+1) \\ F_{U2} &= F_U/(x+1) \\ F_{U1} &= F_U - F_{U2} \end{aligned} \right\} \quad (5.46)$$

Donde:

P_T : Potencia total. [Kw]

P_1 : Potencia del motor 1. [Kw]

P_2 : Potencia del motor 2. [Kw]

x : Factor proporcional para varios motores. [-]

F_{U1} : Fuerza tangencial del tambor 1. [N]

F_{U2} : Fuerza tangencial del tambor 2. [N]

F_U : Fuerza tangencial del total. [N]

5.4.3.2 Potencia para sistema dos tambor motriz en cabeza

Al igual que el caso anterior, la distribución más favorable resulta de completar el sistema de ecuaciones siguiente (5.47):

$$P_T = P_1 + P_2$$

$$P_1/P_2 = F_{U1}/F_{U2} = \frac{e^{\mu \cdot \alpha_1} - 1}{e^{\mu \cdot \alpha_2} - 1} \cdot e^{\mu \cdot \alpha_2} = x$$

$$P_2 = P_T / (x + 1)$$

$$F_{U2} = F_U / (x + 1)$$

$$F_{U1} = F_U - F_{U2}$$

Donde:

P_T : Potencia total. [Kw]

P_1 : Potencia del motor 1. [Kw]

P_2 : Potencia del motor 2. [Kw]

x : Factor proporcional para varios motores (ver Tabla 5.22). [-]

F_{U1} : Fuerza tangencial del tambor 1. [N]

F_{U2} : Fuerza tangencial del tambor 2. [N]

F_U : Fuerza tangencial del total. [N]

μ : Coeficiente de fricción, tambor y banda (ver Tabla 5.13). [-]

Tabla 5.22: Factor proporcional para varios motores [2].

Tambor 2	Ángulo de abrace α_1						Tambor 1
$\mu \leq 0.25$	160°	170°	180°	190°	200°	210°	
α_2							
160°	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00	
170°	1.90	2.10	2.30	2.48	2.67	2.86	
180°	1.83	2.02	2.20	2.38	2.57	2.75	
190°	1.77	1.95	2.12	2.30	2.48	2.65	
200°	1.71	1.89	2.06	2.23	2.40	2.57	
210°	1.67	1.83	2.00	2.17	2.33	2.50	
$\mu \leq 0.3$	160°	170°	180°	190°	200°	210°	
α_2							
160°	2.31	2.53	2.76	3.00	3.26	3.53	
170°	2.22	2.43	2.66	2.89	3.14	3.40	
180°	2.15	2.35	2.57	2.79	3.03	3.28	
190°	2.08	2.28	2.48	2.70	2.93	3.18	
200°	2.02	2.21	2.41	2.62	2.85	3.08	
210°	1.97	2.15	2.35	2.55	2.77	3.00	
$\mu \geq 0.35$	160°	170°	180°	190°	200°	210°	
α_2							
160°	2.66	2.92	3.20	3.51	3.84	4.18	
170°	2.56	2.82	3.10	3.39	3.70	4.03	
180°	2.48	2.74	3.00	3.29	3.59	3.91	
190°	2.41	2.66	2.92	3.19	3.48	3.80	
200°	2.35	2.58	2.84	3.11	3.39	3.70	
210°	2.29	2.52	2.77	3.03	3.31	3.61	

Para mayor comodidad a la hora de resolver las ecuaciones, el valor de "x" se puede determinar directamente de la Tabla 5.22.

5.5 Tensiones de una banda

5.5.1 Generalidades

Considerando la imagen de la *Figura 5.14*, en la que sobre un tambor motriz apoya un cable flexible, cuyos extremo están, uno sujeto a una carga y el otro libre sin carga alguna, es evidente que si la fuerza que se ejerce sobre el extremo libre es pequeña comparado con la de la carga, no se elevará al gira el tambor. Para que esta carga se eleve, es necesario aplicar una fuerza " T_2 " al extremo libre, tal que se cumpla una conocida relación, llamada de EULER-EYTELWEIN (5.48).

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\alpha} \quad (5.48)$$

Donde:

T_1 : Tensión del lado tenso. [N]

T_2 : Tensión del lado flojo. [N]

μ : Coeficiente de fricción, tambor y banda (ver Tabla 5.13). [-]

α : ángulo de abrace entre tambor y banda. (ver Tabla 5.23). [°]

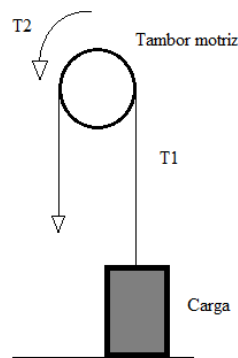


Figura 5.14: Principio de transmisión de fuerza desde un tambor motriz a un cable.

Si la disposición anterior, se gira 90°, y se enlaza el ramal suelto con la carga (colocando además un tambor de retorno), se consigue una cinta transportadora.

5.5.2 Transmisión de las fuerzas

La potencia de accionamiento vista en los apartados anteriores, ha de traducirse en una fuerza de accionamiento sobre el tambor motriz. Esta fuerza de accionamiento " F_U " se produce por la diferencia entre las tensiones de entrada y salida de la banda en el

tambor motriz, que dependen a su vez del coeficiente de rozamiento entre la banda y el tambor. Como es lógico, para que se produzca movimiento, debe existir una diferencia de tensiones, la representación gráfica de esta distribución viene dada en la *Figura 5.15*.

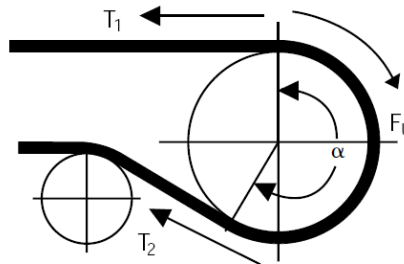


Figura 5.15: Distribución de fuerza y tensión en un tambor motriz [2].

La tensión mayor es llamada tensión del lado tenso " T_1 ", y la tensión más pequeña es llamada tensión del lado flojo " T_2 ", de forma que sin la tensión del lado flojo (para prevenir el deslizamiento), la banda no puede transmitir el movimiento. Debe quedar claro que las tensiones " T_1 " y " T_2 " siempre corresponden con el tambor motriz, independientemente de la situación de éste (en zona de carga o zona de descarga).

Se deduce de la ecuación 5.49 que la diferencia entre la tensión del lado tenso y la tensión del lado flojo es la fuerza tangencial " F_U ".

$$F_U = T_1 - T_2 \quad \text{ó} \quad T_1 = F_U + T_2 \quad (5.49)$$

Donde:

T_1 : Tensión del lado tenso. [N]

T_2 : Tensión del lado flojo. [N]

De acuerdo con la relación de EULER - EYTELWEIN comentada en los párrafos anteriores, y analizando la *Figura 5.16*, se puede observar que para un valor determinado de " T_2 " y siendo " μ " constante, el valor máximo de " T_1 " se alcanza para $T_1 = T_2 \cdot e^{\mu\alpha}$ siendo " α " el ángulo máximo de arrollamiento posible, pero si $T_1 \leq T_2 \cdot e^{\mu\alpha}$, entonces el ángulo de abrace para transmitir " T_1 " será menor, es decir $\alpha_1 \leq \alpha$. Por lo tanto, se debe limitar el ángulo de abrace en régimen normal de trabajo de forma que se tenga un $\alpha_1 \leq \alpha$, para poder prever los posibles incrementos del valor de " T_1 " en el arranque.

Durante la reducción de la tensión " T_1 " necesaria para el arranque, se producirá una disminución del estiramiento de la banda.

Es decir si desde el momento en el que se diseña la instalación no se tiene en cuenta que el ángulo de abrace debe ser más pequeño del máximo que permite la configuración, en el momento del arranque, la " T_1 " aumentará y esto producirá un problema de tensión excesiva en la banda. Con lo cual, se debe tener en cuenta que la tensión " T_1 " disminuirá de acuerdo con la siguiente expresión (ver ecuación 5.50).

$$T_1 \leq T_2 \cdot e^{\mu\alpha} \quad (5.50)$$

Donde:

T_1 : Tensión del lado tenso. [N]

T_2 : Tensión del lado flojo. [N]

μ : Coeficiente de fricción, tambor y banda (ver Tabla 5.13). [-]

α : ángulo de abrace entre tambor y banda. (ver Tabla 5.23). [°]

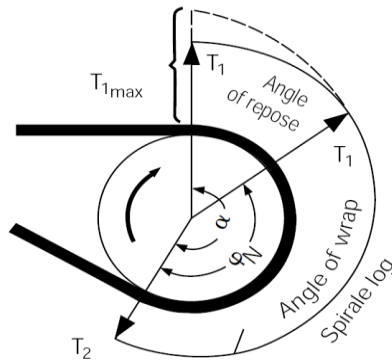


Figura 5.16: Tensiones y ángulos de abrace máximo en el tambor motriz [2].

Conforme a lo explicado en los párrafos anteriores, se puede deducir la relación existente entre la fuerza tangencial y las tensiones (ver ecuación 5.51 y 5.52).

$$T_1 = F_U \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1}\right) = F_U \cdot c_1 \quad (5.51)$$

$$T_2 = F_U \cdot \left(\frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1}\right) = F_U \cdot c_2 \quad (5.52)$$

Donde:

c_1 : Coeficiente de transmisión superior.

c_2 : Coeficiente de transmisión inferior.

μ : Coeficiente de fricción, tambor y banda (ver Tabla 5.13). [-]

α : ángulo de abrace entre tambor y banda. (ver Tabla 5.23). [°]

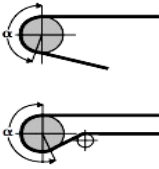
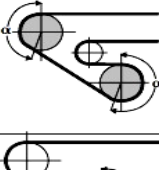
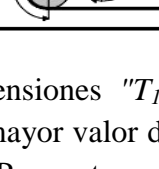
F_U : Fuerza tangencial total. [N]

T_1 : Tensión del lado tenso. [N]

T_2 : Tensión del lado flojo. [N]

Si la fuerza tangencial " F_U " es mayor que la capacidad de transmisión, de acuerdo con la relación de EULER - EYTELWEIN, se producirá deslizamiento.

Tabla 5.23: Ángulos de abrace dependiendo de las diferentes configuraciones.

	Angle of wrap α°
	160
	170
	180
	190
	200
	210
	220
	230
	360
	370
	380
	390
	400
	410
	420
	430
	440
	450
	460
	470

Para el cálculo de las tensiones " T_1 " y " T_2 " con fuerzas tangenciales en el arranque, se debe considerar un mayor valor de fricción entre tambor y banda para evitar así deslizamientos entre ambos. Para este caso, las ecuaciones vienen determinadas de acuerdo con:

$$T_{1A} = F_A \left(1 + \frac{1}{e^{\mu_A \alpha} - 1} \right) = F_A \cdot c_1 \quad (5.53)$$

$$T_{2A} = F_A \left(\frac{1}{e^{\mu_A \alpha} - 1} \right) = F_A \cdot c_2 \quad (5.54)$$

Siendo:

$$\mu_A = \mu + 0.05$$

Donde:

c_{1A} : Coeficiente de transmisión superior en el arranque.

c_{2A} : Coeficiente de transmisión inferior en el arranque.

μ_A : Coeficiente de rozamiento entre tambor y banda en el arranque.

μ : Coeficiente de fricción, tambor y banda (ver Tabla 5.13). [-]

α : ángulo de abrace entre tambor y banda. (ver Tabla 5.23). [°]

F_A : Fuerza tangencial en el arranque. [N]

T_{1A} : Tensión del lado tenso en el arranque [N]

T_{2A} : Tensión del lado flojo en el arranque. [N]

5.5.3 Corrección de las tensiones

Las tensiones calculadas, no son las definitivas, pueden ser válidas para el caso de instalaciones pequeñas con poca potencia, pero para el resto de casos, es necesario realizar una serie de correcciones que dependen del tipo de dispositivo tensor a utilizar, pudiendo ser fijo o automático.

5.5.3.1 Corrección con dispositivo tensor fijo

En este caso, la longitud de la banda entre los ejes de ambos tambores, no cambia, con lo cual, cuando se dé un cambio de carga o exista un incremento de tensión por el arranque, la banda únicamente dependerá de su límite elástico para compensar esa tensión. Por consiguiente, el alargamiento total que experimentará la banda será constante para todas las condiciones de trabajo. Desde el punto de vista de las tensiones, se debe cumplir la ecuación 5.55. De forma que la suma de las tensiones de la banda tiene que ser constante para todas las condiciones de trabajo (arranque y régimen permanente).

$$\Sigma T_{Trabajo} = \Sigma T_{Arranque} = Constante \quad (5.55)$$

Donde:

$\Sigma T_{Trabajo}$: Suma de las tensiones en régimen permanente. [N]

$\Sigma T_{Trabajo}$: Suma de las tensiones en el arranque. [N]

La tensión previa tiene que ser calculada y fijada con el fin de tener en cuenta el de funcionamiento normal y el estado de funcionamiento para el arranque y frenado. La ubicación del tambor tensor, para este caso, no influye pudiendo estar en el extremo de descarga (cabeza) o el extremo de la cola.

Para este caso, la distribución de tensiones es la que se muestra en la *Figura 5.17*. En ella se puede diferenciar las tensiones para cada uno de los tambores, siendo " T_1 ", y " T_2 " las del tambor motriz, y " T_3 " y " T_4 " las del tambor de retorno. Diferenciando el aumento de la tensión " T_1 ", en el tambor motriz durante el arranque (*running*) respecto a las condiciones de trabajo normales. Como la longitud de la banda debe permanecer constante por el tipo de tensor, el incremento que se experimenta en " T_1 ", debe ser aplicado al resto de tensiones, para así asegurar una distribución constante de tensiones, en arranque y en condiciones normales de trabajo.

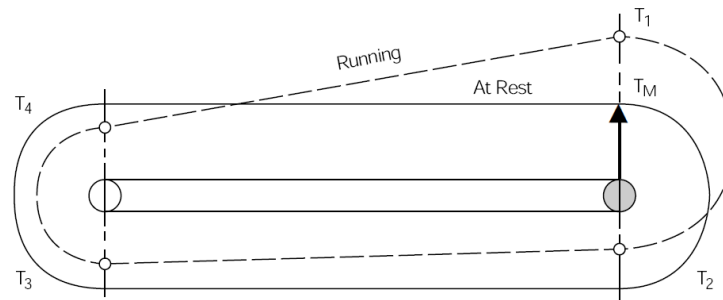


Figura 5.17: Distribución de tensiones para un dispositivo tensor fijo [2].

Como se indicó en el apartado 5.3.6, los valores de las tensiones deben ser incrementados de tal forma que se asegure un aumento del 20% de la tensión del lado tenso " T_1 ", para suministrar una reserva de tensión adicional debida a la carencia de control de las tensiones y a las inexactitudes e intermitencias producidas por la utilización del tensor fijo. Para determinar este valor de incremento de tensión se deduce de las siguientes ecuaciones (ver ecuaciones 5.56 y 5.57).

$$T_M = \Sigma T_B / 4 \quad (5.56)$$

$$T = \Sigma T_A / 4 \quad (5.57)$$

Donde:

T_M : Resto de tensiones, en régimen de trabajo normal. [N]

T : Tensión en el momento de arranque.. [N]

Como además para las dos condiciones (arranque y condiciones de trabajo normales) se debe mantener constante, no puede cambiar, se tiene, que el valor del incremento será el que se obtenga de la ecuación 5.58.

$$\Delta T = (\Sigma T_A - \Sigma T_B) / 4 \quad (5.58)$$

Para las instalaciones de tambor fijo, es necesario aumentar las tensiones un valor ΔT , para poder asegurar una reserva de tensión adicional, y asegurar un correcto arranque.

5.5.3.2 Corrección con dispositivo tensor móvil

En el caso en el de seleccionar un dispositivo tensor automático, siendo el más común, por contrapeso, la longitud de la banda será variable de un estado a otro (de arranque a estado estacionario). Cuando la banda sufre un incremento de longitud en el arranque, el peso del dispositivo tensor hace que ésta se ajuste conforme a la variación que experimenta. Con lo que las tensiones por la selección de este dispositivo permanecerán constantes sin variar, modificándose solo la longitud de la banda existente entre los dos tambores.

Para calcular el peso del contrapeso y su tensión, se debe tener presente el arranque y parada de la banda, por lo que la tensión aportada por el contrapeso hará que sean siempre mayores que las necesarias para el estado estacionario.

Este dispositivo tensor, influye dependiendo donde se coloque, pues la tensión será diferente de acuerdo a su ubicación (*ver Figura 5.18*).

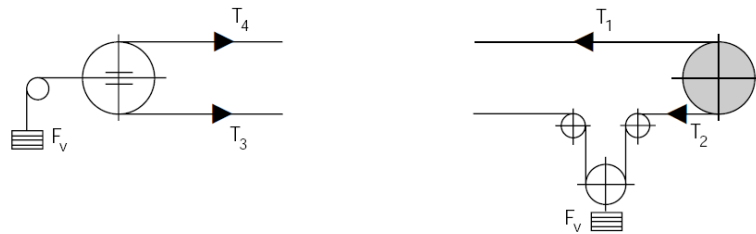


Figura 5.18: Diferente localización del dispositivo tensor por contrapeso [2].

Si se ubica el dispositivo tensor en cola, la tensión del dispositivo tensor será la definida en la ecuación 5.59.

$$F_v = T_3 + T_4 \quad (5.59)$$

Donde:

F_v : Tensión del tensor. [N]

T_4 : Tensión del lado flojo en régimen permanente. [N]

T_3 : Tensión del lado flojo en régimen permanente. [N]

Para el caso contrario, ubicando el dispositivo tensor en la zona de descarga, o cabeza, se obtendrá un valor de tensión de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F_v = 2 \cdot T_2 \quad (5.60)$$

Donde:

F_v : Tensión del tensor. [N]

T_2 : Tensión del lado tenso en régimen permanente. [N]

En la *Figura 5.19*, se representa la distribución de tensiones para el arranque y para la condiciones de estado estacionario, de acuerdo al uso de un dispositivo por contrapeso

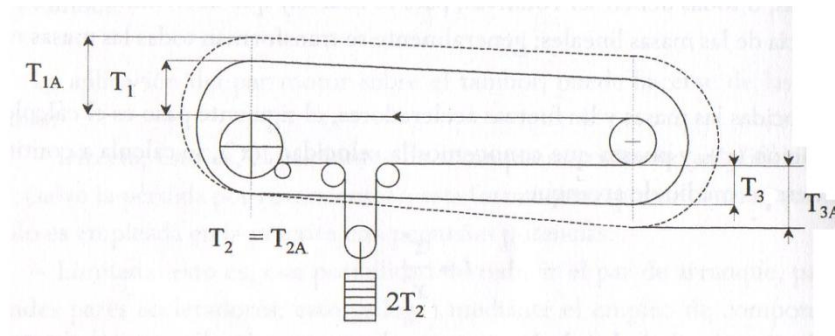


Figura 5.19: Distribución de tensiones para tambor tensor por contrapeso [1].

En este caso, la situación del tambor tensor se encuentra en la zona de descarga o lo que es lo mismo, en cabeza. Como se debe cumplir que las tensiones deben permanecer constante antes y después del arranque, el incremento de tensión que se produce en " T_3 " debe ser aplicado al resto de las tensiones, con lo cual, para corregir dicho valor se debe cumplir la ecuación siguiente:

$$\Delta T = T_{A3} - T_3. \quad (5.61)$$

Donde:

T_3 : : Tensión del lado flojo en régimen permanente. [N]

T_{A3} : Tensión del lado flojo en el arranque. [N]

En caso de tener un dispositivo situado en el lado de cola o carga, se tendrá el caso contrario. En la *Figura 5.20* se puede ver la diferencia, y el incremento que se debe aplicar al resto de tensiones para garantizar que las tensiones antes y después permanecen constantes (ver ecuación 5.62).

$$\Delta T = T_{A2} - T_2. \quad (5.62)$$

Donde:

T_2 : : Tensión del lado tenso en régimen permanente. [N]

T_{A2} : Tensión del lado tenso en el arranque. [N]

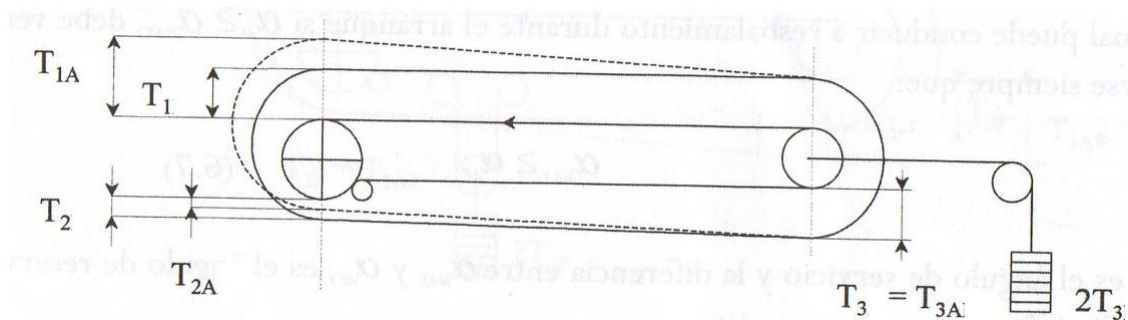


Figura 5.20: Distribución de tensiones para tambor tensor por contrapeso [2].

Nota: En este caso se observa que " T_{2A} " es menor que " T_2 ", esto ocurre por la situación del tambor motriz, (en cabeza), en cambio el incremento considerando " T_{3A} " y " T_3 " es positivo. Con lo cual. Con la situación del tambor motriz en cola, y situando el dispositivo tensor en cola, se tendrá un incremento para " T_{3A} " y " T_3 " negativa y positivo para " T_{2A} " y " T_2 ".

5.5.3.3 Corrección del control de mínima tensión

A veces puede suceder que la tensión " T_2 ", aún siendo lo suficientemente elevada como para lograr la adherencia de la banda al tambor motriz, es insuficiente para evitar el pandeo excesivo de la banda entre los rodillos, pudiéndose provocar así el derrame del material (ver Figura 5.8). Para evitar esta flecha excesiva se debe procurar que en ningún punto de la banda aparezca una tensión inferior a la tensión mínima T_0 , tensión que viene determinada por ecuación 5.63.

$$T_0 = \frac{g \cdot (m' L + m' G) \cdot l_0}{8 \cdot h} \quad (5.63)$$

Donde:

h : Flecha admisible de la banda. Se considera:	1%.
Para estaciones superiores.	$h=0.005-0.015$
Para estaciones inferiores.	$h=0.02-0.03$
g : Aceleración gravitacional.	$[m / s^2]$
m'_G : Masa de la banda por unidad de longitud.	$[Kg/m]$
m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud.	$[Kg/m]$
l_0 : Separación entre dos estaciones de rodillos.	$[m]$

Como la tensión mínima en los tambores es siempre la que aparece en $T_4 = T_3$ (tensión del tambor de retorno), cuando el valor de T_4 es menor que la mínima necesaria en la banda para evitar el derrame del material por flechas excesivas T_0 , se debe incrementar todas las tensiones, un incremento tal que asegure el no derramamiento del material. Este valor se obtiene de la siguiente ecuación.

$$\Delta T = T_0 - T_4. \quad (5.64)$$

Donde:

T_0 : Tensión mínima de la banda	$[N]$
T_4 : Tensión del lado flojo (la menor).	$[N]$

5.5.4 Secuencia de cálculo

Para determinar correctamente las tensiones de la banda, se debe analizar las resistencias de manera individual de acuerdo con las ecuaciones descritas a continuación. Estas resistencias son similares a las calculadas en el apartado 5.3.5, pero debe diferenciarse para el carril superior y para el carril inferior de la banda.

Las tensiones " T_1 " y " T_4 " se determinan de acuerdo con el principio de cálculo secuencial. Este método permite que la tensión sea comprobada en cualquier punto de la instalación, así como en condiciones de trabajo de puesta en marcha y de frenado.

Las fuerzas que afectan a la banda, son determinadas en función de la dirección en la que operan. Estas se calcula por medio del valor de las resistencias secundarias que surgen en el punto de carga, resistencia de fricción, la resistencia debidas a la pendiente y las resistencias inerciales en el arranque y frenado.

Con ayuda de la *Figura 5.21*, se puede analizar las direcciones de cada una de las fuerzas que aparecen en la banda, tanto en la zona superior como en la zona inferior.

En la *Tabla 5.24* aparece la distribución de fuerzas en forma de ecuación para cada uno de los carriles de la instalación.

Las tensiones " T_1 " y " T_4 " se pueden calcular a partir de la condición $\Sigma F = 0$.

Tabla 5.24: Ecuaciones de las distribución de fuerzas de una banda [2].

Carril superior	$0 = T_1 - T_4 - F_N - F_O - F_{sto} - F_{ao}$
Carril de retorno	$0 = T_3 - T_2 - F_U + F_{stu} - F_{au}$
Con accionamiento en cabeza	$0 = T_1 - F_U - T_2$
Con accionamiento en cola	$0 = T_4 + F_U - T_3$

(5.65)

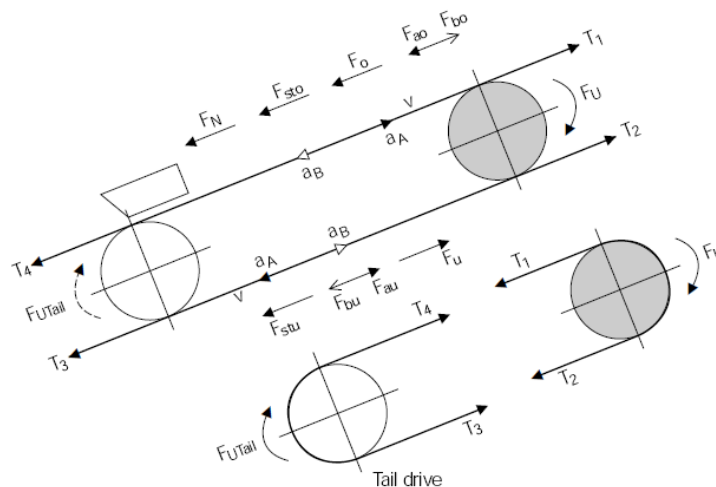


Figura 5.21: Distribución de fuerzas a lo largo de una banda transportadora [2].

Para obtener el valor de las resistencias individuales (por cada uno de los carriles) se estudian las siguientes ecuaciones:

Resistencias principales

$$F_H = f \cdot L \cdot g \cdot [m'_R + (2 \cdot m'_G + m'_L) \cdot \cos \delta] \quad (5.66)$$

Donde:

F_H : Resistencias principales. [N]

f : Coeficiente de fricción. [-]

L : Longitud de la banda. [m]

g : Aceleración gravitacional. [m / s²]

m'_R : Masa de los rodillos por unidad de longitud. [Kg/m]

m'_G : Masa de la banda por unidad de longitud. [Kg/m]

m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud. [Kg/m]

δ : Ángulo de inclinación de la banda. [°]

Resistencias secundarias

$$F_N = (C - 1) \cdot F_H \quad (5.67)$$

Donde:

F_N : Resistencia secundaria. [N]

F_H : Resistencias principales. [N]

C : Coeficiente de corrección de longitud. [-]

Resistencias de fricción

Carril superior:

$$F_o = f \cdot L \cdot g \cdot [m'_R o + m'_G + m'_L] \quad (5.68)$$

Carril inferior

$$F_u = f \cdot L \cdot g \cdot [m'_R u + m'_G] \quad (5.69)$$

Donde:

f : Coeficiente de fricción. [-]

L : Longitud de la banda. [m]

g : Aceleración gravitacional. [m / s²]

m'_{Ru} : Masa de los rodillos del carril superior. [Kg/m]

m'_{Ro} : Masa de los rodillos del carril inferior. [Kg/m]

m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud. [Kg/m]

Resistencias por inclinación

Carril superior:

$$F_{sto} = H \cdot g \cdot [m' G + m' L] \quad (5.70)$$

Carril inferior

$$F_{stu} = H \cdot g \cdot m' G \quad (5.71)$$

Donde:

g : Aceleración gravitacional. [m / s²]

m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud. [Kg/m]

m'_G : Masa de la banda por unidad de longitud. [Kg/m]

H : Desnivel entre el tambor de cabeza y cola.

$H < 0$ Cuando se tiene una cinta en descenso. [m]

$H > 0$ Cuando se tiene una cinta en ascenso. [m]

Resistencias inerciales

Carril superior:

$$F_{ao} = L \cdot a \cdot [m'_{Redo} + m' G + m' L] \quad (5.72)$$

$$m'_{Redo} = 0.9 m'_{Ro}$$

Carril inferior

$$F_{au} = L \cdot a \cdot [m'_{Redu} + m' G] \quad (5.73)$$

$$m'_{Redu} = 0.9 m'_{Ru}$$

Donde:

L : Longitud de la banda. [m]

m'_L : Masa de la carga por unidad de longitud. [Kg/m]

m'_G : Masa de la banda por unidad de longitud. [Kg/m]

m'_{Redo} : Masa reducida de los rodillos del carril superior. [Kg/m]

m'_{Redu} : Masa reducida de los rodillos del carril inferior. [Kg/m]

m'_{Ru} : Masa de los rodillos del carril superior. [Kg/m]

m'_{Ro} : Masa de los rodillos del carril inferior. [Kg/m]

a : aceleración. [m / s²]

5.5.5 Determinación de las tensiones para bandas con un tambor motriz

A continuación se detallan los diferentes casos existentes junto con la deducción de las ecuaciones de las tensiones para régimen permanente y para arranque.

5.5.5.1 Tambor motriz situado en cabeza, Figura 5.22

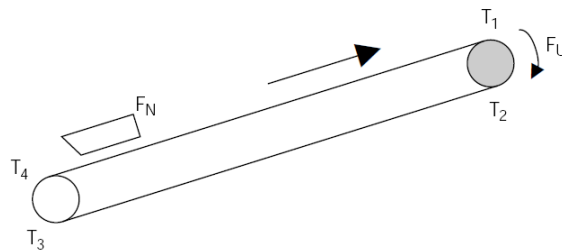


Figura 5.22: Tensiones para instalación con un tambor motriz en cabeza [2].

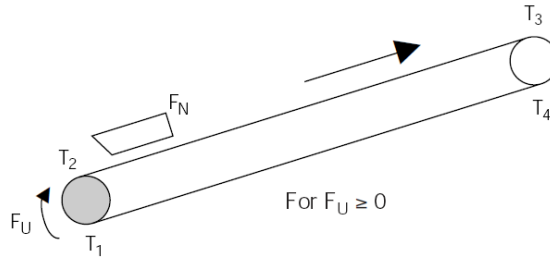
Ecuaciones para condiciones estacionarias de trabajo

$$\begin{aligned} T_2 &= F_U * C_2 \\ T_3 &= T_2 + F_u - F_{stu} \\ T_4 &= T_3 \\ T_1 &= T_4 + F_N + F_O + F_{sto} \end{aligned} \quad (5.74)$$

Ecuaciones para condiciones de arranque

$$\begin{aligned} T_{A2} &= F_A * C_{2A} \\ T_{A3} &= T_{A2} + F_u - F_{stu} + F_{au} \\ T_{A4} &= T_{A3} \\ T_{A1} &= T_{A4} + F_N + F_O + F_{sto} + F_{ao} \end{aligned} \quad (5.75)$$

5.5.5.2 Tambor motriz situado en cola, Figura 5.23

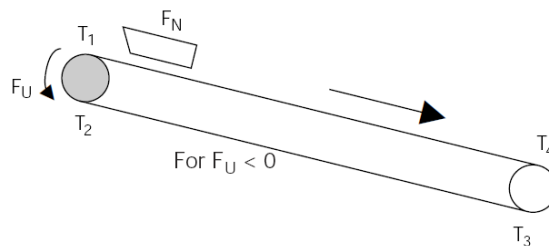
**Figura 5.23:** Tensiones para instalación con un tambor motriz en cola [2].Ecuaciones para condiciones estacionarias de trabajo

$$\begin{aligned}
 T_2 &= F_U * C_2 \\
 T_3 &= T_2 + F_u + F_o + F_{sto} \\
 T_4 &= T_3 \\
 T_1 &= T_4 + F_u - F_{stu}
 \end{aligned}
 \tag{5.76}$$

Ecuaciones para condiciones de arranque

$$\begin{aligned}
 T_{A2} &= F_A * C_{2A} \\
 T_{A3} &= T_{A2} + F_N + F_o + F_{sto} + F_{ao} \\
 T_{A4} &= T_{A3} \\
 T_{A1} &= T_{A4} + F_u - F_{stu} + F_{au}
 \end{aligned}
 \tag{5.77}$$

5.5.5.3 Tambor motriz situado en cola, actuando como freno Figura 5.24.

**Figura 5.24:** Tensiones para cinta descendente actuando como freno [2].Ecuaciones para condiciones estacionarias de trabajo

$$\begin{aligned}
 T_2 &= F_U * C_2 \\
 T_3 &= T_2 - F_u - F_{stu} \\
 T_4 &= T_3 \\
 T_1 &= T_4 - F_N - F_o + F_{sto}
 \end{aligned}
 \tag{5.78}$$

Ecuaciones para condiciones de arranque

$$\begin{aligned} T_{A2} &= F_A * C_{2A} \\ T_{A3} &= T_{A2} - F_u - F_{stu} + F_{au} \\ T_{A4} &= T_{A3} \\ T_{A1} &= T_{A4} - F_N - F_o + F_{sto} + F_{ao} \end{aligned}$$

(5.79)

5.5.6 Determinación de las tensiones para instalaciones con dos tambores motrices

Se diferencian los sistemas con dos tambores motrices del resto, debido a que la distribución de potencia debe ser analizada cuidadosamente, ya que para este tipo de sistemas cada uno de los motores presentará una potencia diferente, pues si se distribuyeran las potencias para cada tambor de forma similar, se producirían problemas con las tensiones en la banda, formando bucles a causa de la descompensación que sufre uno de los tambores respecto de otro.

Para analizar la distribución de potencias de forma adecuada se debe analizar el valor de la proporción entre la potencia de cada tambor como se recoge en la *Tabla 5.25*.

Tabla 5.25: Tensiones necesarias para dos tambores motrices [2].

Proporción de la distribución	Utilización de las fuerzas tangenciales	Tensiones de la banda
$P_1/P_2 > x$	Tambor 1 con utilización plena	$T_2 = F_{U1} * c_{12} - F_{U2}$ $T_1 = T_2 + F_U$
$P_1/P_2 \leq x$	Tambor 2 con utilización plena	$T_2 = F_{U2} * c_{22}$ $T_1 = T_2 + F_U$

* Cuando se trate el caso del sistema en régimen de arranque, se debe sustituir el valor de F_{U1} y F_{U2} , por el valor de F_A .

Siendo:

$$c_{12} = \left(\frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1} \right) \quad (5.80)$$

$$c_{22} = \left(\frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1} \right) \quad (5.81)$$

Donde:

$P1$: Potencia del motor 1. [Kw]

$P2$: Potencia del motor 2. [Kw]

x : Factor proporcional para varios motores (ver Tabla 5.22). [-]

F_{U1} : Fuerza tangencial del tambor 1. [N]

F_{U2} : Fuerza tangencial del tambor 2. [N]

F_A : Fuerza tangencial en el arranque. [N]

μ : Coeficiente de fricción, tambor y banda (ver Tabla 5.13). [-]

α_1 : Ángulo de abrace del tambor 1-banda (Ver Tabla 5.22). [°]

α_2 : Ángulo de abrace del tambor 2-banda (Ver Tabla 5.22). [°]

5.5.6.1 Dos tambores motrices, uno en cabeza y otro en cola, Figura 5.25

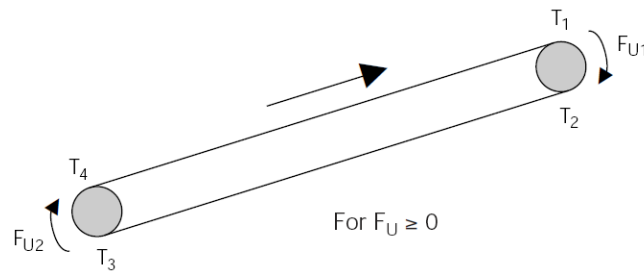


Figura 5.25: Tensiones para instalación con un tambor motriz en cola y otro en cabeza [2].

Ecuaciones para condiciones estacionarias de trabajo

$$\begin{aligned} T_2 &= F_{U1} \cdot C_2 \\ T_3 &= T_2 + F_u - F_{stu} \\ T_4 &= T_3 - F_{U2} \\ T_1 &= T_4 + F_N + F_o + F_{sto} \end{aligned}$$

(5.82)

Ecuaciones para condiciones de arranque

$$\begin{aligned} T_{A2} &= F_{A1} \cdot C_{2A} \\ T_{A3} &= T_{A2} + F_u - F_{stu} + F_{au} \\ T_{A4} &= T_{A3} - F_{A2} \\ T_{A1} &= T_{A4} + F_N + F_o + F_{sto} + F_{ao} \end{aligned}$$

(5.83)

5.5.6.2 Dos tambores motrices en cabeza Figura 5.26

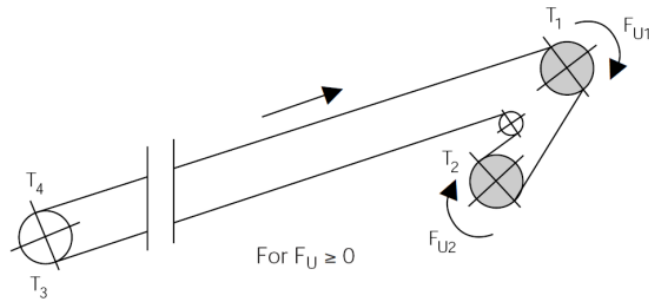


Figura 5.26: Tensiones para instalación con dos tambores motrices en cabeza [2].

Ecuaciones para condiciones estacionarias de trabajo

$$\begin{aligned} T_2 &= \text{Ver tabla 33} \\ T_3 &= T_2 + F_u - F_{stu} \\ T_4 &= T_3 - F_{U2} \\ T_1 &= T_4 + F_N + F_o + F_{sto} \end{aligned}$$

(5.84)

Ecuaciones para condiciones de arranque

$$\begin{aligned} T_{A2} &= \text{Ver tabla 33 *} \\ T_{A3} &= T_{A2} + F_u - F_{stu} + F_{au} \\ T_{A4} &= T_{A3} - F_{A2} \\ T_{A1} &= T_{A4} + F_N + F_o + F_{sto} + F_a \end{aligned}$$

(5.85)

5.6 Selección de los elementos de la banda

5.6.1 Selección del motor

Una vez que se ha calculado la potencia necesaria para el funcionamiento correcto de la instalación, se debe determinar las características constructivas del motor. Para ello, mediante cualquier catálogo de motores trifásicos de jaula de ardilla o rotor bobinado de 4 polos (los más recomendables) [12], se puede hallar el valor geométrico de los mismo, además del rendimiento, el par, el nivel sonoro, etc.

5.6.2 Selección de la banda

Como ya se comentó en el capítulo 3, la cinta transportadora es el elemento más importante de toda la instalación, ya que puede representar hasta el 60% del coste total de la banda transportadora.

De acuerdo con el tipo de banda seleccionada y la tensión calculada, se debe determinar si se cumple con los requisitos establecidos de resistencia a los esfuerzos de

tracción influido por la tensión máxima a la que está sometida. Para ello se debe comprobar que la tensión máxima de trabajo es inferior a la resistencia nominal de la banda, aplicándole un coeficiente de seguridad. Esto se puede comprobar mediante el siguiente cálculo:

$$R_l = \frac{T_{max} \cdot S}{B} \quad (5.86)$$

Donde:

R_l : Resistencia nominal de la banda total. [N / mm]

T_{max} : Tensión máxima de trabajo de la banda. [N]

B : Ancho de banda. [mm]

S : Coeficiente de seguridad.

Para banda con cable de acero. $S = 8$

Para el resto de bandas. $S = 10$

Si se quisiera saber el valor de la resistencia de cada una de las capas que forman la banda, bastaría con dividir este valor por el número total de capas.

A modo informativo para el usuario, se puede determinar el diámetro del rollo de la banda, con el fin de poder obtener un valor orientativo sobre los costes de transportes. La siguiente ecuación lo determina, junto con la *Figura 5.27*.

$$D_b = d + \sqrt{\frac{4 \cdot tb \cdot (2 \cdot Lt + \pi \cdot D)}{\pi}} \quad (5.87)$$

Donde:

D_b : Diámetro del rollo de la banda. [m]

tb : Espesor de la banda. [m]

Lt : longitud total de la banda. [m]

D : Suma del diámetro de los tambores. [m]

d : Diámetro del núcleo del tambor de enrollamiento. [m]

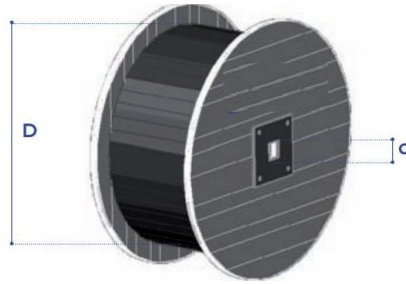


Figura 5.27: Diámetro del rollo de la banda.

5.6.3 Selección de las características de los rodillos

Para determinar las características de los rodillos, lo primero que se debe conocer es el diámetro de los mismos, de acuerdo a las condiciones de trabajo a las que se van a someter. Este parámetro se determina en el presente capítulo, en el apartado 5.3.2, junto a la *Tabla 3.5*.

Para seleccionar unos rodillos de forma adecuada, se debe determinar el tipo de recubrimiento y tipo de material que lo formarán. Estos datos se pueden encontrar en cualquier catálogo de rodillos, en este caso, se ha seleccionado el fabricante *RULMECA* [5]. En él se especifica, algunos de los diferentes rodillos utilizados para las estaciones superiores y para las estaciones inferiores.

También diferencia entre varias series de rodillos, siendo las más comunes las Series PSV-X, PL-X, MPS, MPR y RTL.

Los rodillos del presente proyecto, se han seleccionado en función del tipo de material del que están formados:

Rodillos de acero (PSV)

Las aplicaciones más usuales de los rodillos de acero son: minas, canteras, plantas de cemento, centrales térmicas, instalaciones portuarias. La eficacia del sistema de estanqueidad de los rodillos, da la solución a las condiciones ambientales de polvo, suciedad, agua, alta y baja temperaturas o aplicaciones donde hay una gran diferencia de temperaturas entre el día y la noche. La temperatura de trabajo, con componentes estándar engrasados está definida entre -20°C y $+100^{\circ}\text{C}$. Es posible alcanzar temperaturas más allá de esta gama utilizando grasa, rodamientos y retenes especiales.

Rodillos anticorrosivos (PL-X)

Se utilizan en los transportadores que recogen materiales muy corrosivos; y donde prevalecen unas duras condiciones de trabajo, industrias de extracción y en minas de sal, industrias químicas, fabricación de fertilizantes y en ambientes marinos que requieren rodillos resistentes a la corrosión.

Estos rodillos presentan una particular resistencia a la presencia humedad y agua, y también a los elementos corrosivos presentes en el ambiente o en el propio material

transportado. El diseño de los rodillos utiliza materiales de plástico en la mayoría de las piezas críticas.

Rodillos termoplásticos

Pesa menos que el rodillo de acero (aprox. 50% menos), lo que significa un menor consumo de electricidad durante la operación arranque/parada del transportador y por lo tanto, una reducción de la necesidad de electricidad de la planta. Además, el bajo nivel de abrasión y corrosión de este rodillo (resistente al agua), garantizan una vida más larga. No se oxida, se adapta a una diversidad de aplicaciones y tiene una baja emisión de ruidos (debido a la absorción de ruido del termoplástico).

Existen otros modelos diferentes de rodillos y de diferente tipo dependiendo del fin al que vayan destinado, como puede ser los rodillos de impacto, los rodillos guías o los rodillos centradores, pero en este proyecto éstos modelos no se consideran.

Al igual que sucede en el caso de los rodillos superiores, existen distintos tipos de rodillos de retorno dependiendo de varias condiciones, como por ejemplo el tipo de material a transportar o las condiciones ambientales que tenga que soportar la banda transportadora. A continuación se detallan algunos de estos diseños.

Rodillos de retorno con discos de goma

Soportan la banda en el retorno sobre un grupo de discos de goma o recubiertos de goma. Son empleados en bandas que transportan material pegajoso que tiende a apelmazarse sobre los rodillos convencionales hechos de tubo de acero. La concentración de presión en los discos y su deflexión tienden a impedir que el material se pegue. Este tipo de rodillos no debe ser utilizado con bandas que no permanezcan planas en el recorrido de retorno.

Rodillos con manga de goma

En bandas que tienden a permanecer cóncavas hacia la cubierta superior, se producen fuerzas hacia abajo entre los discos de forma que se transmite el peso entero de la carga sobre los discos ubicados cerca de los extremos, ocasionando un rápido desgaste de los mismos. Cuando se dan estas condiciones, resulta efectivo emplear un rodillo de retorno que consta de una manga de goma resistente al desgaste.








Rodillos en autolimpiadores en espiral o helicoidales

Usados en las estaciones de retorno para soportar la banda cuando el material que está siendo transportado, incluso si es solamente un poco pegajoso o muy viscoso. La forma de hélice espiral de los anillos no abrasivos, montados sobre el tubo del rodillo base, ejerce una acción de limpieza y reduce la tendencia del material a depositarse sobre sí mismo. Se pueden utilizar sobre cualquier parte de la sección de la banda de retorno en el caso de transportadores cortos.

Una vez definidos los diferentes tipos, conociendo su diámetro, y respetando la velocidad de giro de los mismos, siendo obligatorio no superar las 650 r.p.m. Se pasará a determinar las cargas que deben soportar todos los rodillos. Para ello primero se debe definir una serie de factores, estos son:

El *factor de participación*, viene definido en la *Tabla 5.26*, de acuerdo con la disposición de los rodillos

Tabla 5.26: Factor de participación [5].

Factor de participación F_p del rodillo sometido a mayor tensión						
0°	20°	20°	30°	35°	40°	45°
						
1.00	0.50	0.60	0.65	0.67	0.70	0.72

El *factor de servicio*, detallado en la *Tabla 5.27*, dependiente del número de horas de servicio.

Tabla 5.27: Factor de servicio [5].

Duración	F_s
Menos de 6 horas al día	0.8
De 6 a 9 horas al día	1.0
De 10 a 16 horas al día	1.1
Más de 16 horas al día	1.2

Factor ambiental, que depende de las condiciones ambientales, definido en la *Tabla 5.28*.

Tabla 5.28: Factor ambiental [5].

Condiciones	F_m
Limpio y con manutención regular	0.9
Con presencia de material abrasivo o corrosivo	1.0
Con presencia de material muy abrasivo o corrosivo	1.1

Factor de choque, que depende de la velocidad de la banda y del tamaño del material *Tabla 5.29*.

Tabla 5.29: Factor de choque [5].

Tamaño — del material	Velocidad de la banda m/s						
	2	2.5	3	3.5	4	5	6
0 ÷ 100 mm	1	1	1	1	1	1	1
100 ÷ 150 mm	1.02	1.03	1.05	1.07	1.09	1.13	1.18
150 ÷ 300 mm en estrato de material fino	1.04	1.06	1.09	1.12	1.16	1.24	1.33
150 ÷ 300 mm sin estrato de material	1.06	1.09	1.12	1.16	1.21	1.35	1.50
300 ÷ 450 mm	1.20	1.32	1.50	1.70	1.90	2.30	2.80

Factor de velocidad, que depende de la velocidad de la banda y del diámetro de los rodillos *Tabla 5.30*.

Tabla 5.30: Factor de velocidad [5].

Velocidad banda	Diámetro de los rodillos mm						
m/s	60	76	89-90	102	108-110	133-140	159
0.5	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
1.0	0.92	0.87	0.85	0.83	0.82	0.80	0.80
1.5	0.99	0.99	0.92	0.89	0.88	0.85	0.82
2.0	1.05	1.00	0.96	0.95	0.94	0.90	0.86
2.5			1.01	0.98	0.97	0.93	0.91
3.0			1.05	1.03	1.01	0.96	0.92
3.5					1.04	1.00	0.96
4.0					1.07	1.03	0.99
4.5					1.14	1.05	1.02
5.0					1.17	1.08	1.00

5.6.3.1 Determinación de la carga estática de las estaciones de rodillos superiores e inferiores

Carga estática de estaciones de rodillos superiores

$$C_{al} = [l_0 \cdot (m'_G + \frac{Qm}{3.6 \cdot v}) \cdot 9.81] \cdot [Fd \cdot Fs \cdot Fm] \quad (5.88)$$

Donde:

C_{al} : Carga estática de estaciones de rodillos superiores. [N]

l_0 : Distancia de separación de los rodillos superiores. [m]

m'_G : Masa de la banda por metro lineal. [Kg / m]

v : Velocidad de la banda. [m / s]

F_d : Factor de choque. [-]

F_s : Factor de servicio. [-]

F_m : Factor ambiental. [-]

Carga del rodillo sometido a mayor esfuerzo de la estación superior

$$c_a = C_{a1} \cdot F_p \quad (5.89)$$

Donde:

c_a : Carga sobre el rodillo de mayor esfuerzo estación superior. [N]

F_p : Factor de participación. [-]

C_{a1} : Carga estática de estaciones de rodillos superiores. [N]

Carga estática de estaciones de rodillos inferiores

$$C_R = [l_u \cdot m'_G \cdot 9.81] \cdot [F_v \cdot F_s \cdot F_m] \quad (5.90)$$

Donde:

C_{a1} : Carga estática de estaciones de rodillos inferiores. [N]

m'_G : Masa de la banda por metro lineal. [Kg / m]

F_v : Factor de velocidad. [-]

F_s : Factor de servicio. [-]

F_m : Factor ambiental. [-]

Carga del rodillo sometido a mayor esfuerzo de la estación inferior

$$c_r = C_R \cdot F_p \quad (5.91)$$

Donde:

c_r : Carga sobre el rodillo de mayor esfuerzo, estación inferior [N]

F_p : Factor de participación [-]

C_R : Carga estática de estaciones de rodillos inferior [N]

5.6.4 Selección de las características de los tambores

El diseño de los tambores implica determinar: Los ancho de cara, los diámetro de cada del tambor, la velocidad de giro de cada uno de ellos, la distancia entre los apoyos, la carga que recibe el tambor motriz y su par. A continuación se explica detalladamente cada uno de estos conceptos.

5.6.4.1 Determinación del ancho de cara del tambor

Para determinar el ancho de cara de los tambores es necesario conocer el ancho de la banda y aplicar las ecuaciones 5.92 o 5.93, según sea el caso.

$$F = B + 0,05 \quad \text{si } B < 1 \quad (5.92)$$

$$F = B + 0,075 \quad \text{si } B > 1 \quad (5.93)$$

Donde:

F : Ancho de cara del tambor. [m]

B : Ancho de banda. [m]

Se debe revisar el catálogo del fabricante para comprobar que existe el tamaño de cara de tambor que se requiere. En caso contrario, se debe seleccionar el mínimo ancho de cara ofrecido por el fabricante que cumpla las ecuaciones anteriores.

5.6.4.2 Determinación del diámetro de tambor

La selección del diámetro de tambor apropiado depende principalmente del tipo y espesor de la banda seleccionada. Como se mencionó en el capítulo 3, la banda consta de una carcasa compuesta de fibras sintéticas o de acero embebida en un recubrimiento de goma llamado cubierta. Cuando la cinta se enrolla sobre los tambores, las fibras internas se comportan como una lámina metálica curva, es decir, las fibras más alejadas del centro están sometidas a una mayor tensión que las más próximas.

Pueden aplicarse las formulas clásicas de resistencia de materiales para determinar las tensiones en las fibras exteriores de la banda en función del número de capas, los diámetros de los tambores y el esfuerzo tangencial aplicado sobre la misma.

En este caso, el fabricante *Dunlop*, para cada tipo de banda, concreta un coeficiente por el que hay que multiplicar el espesor de la carcasa, y de esta forma nos da directamente el valor del diámetro para cada tipo de tambor. A continuación se muestra la ecuación para calcular el diámetro del tambor [2].

$$D_{Tr} = C_{Tr} \cdot d \quad (5.94)$$

Donde:

D_{Tr} : Diámetro del tambor. [mm]

d : Espesor de la carcasa de la banda [mm]

C_{Tr} : Coeficiente dependiente del tipo de material de la banda (Tabla 5.31).

Tabla 39: Coeficiente dependiente del tipo de material de la banda

C_{TR}	Material de la carcasa de la banda
80	DUNLOFLEX / 2 Capas
95	TRIOFLEX / 3 Capas
108	SUPERFORT / Multicapa EP
138	FERROFLEX / Carcasa de tejido de acero
145	SILVERCORD / Cables de acero

Es importante determinar el valor del porcentaje de utilización de cada uno de los tambores, pues si es inferior al 0.6 %, el tamaño de algunos de los tambores se puede reducir en uno o dos valores por debajo del establecido por el cálculo anterior. Para determinar el % de utilización se debe emplear al siguiente ecuación:

$$K_A = \frac{T_{max} \cdot S}{B \cdot Kn} \cdot 100 \quad (5.95)$$

Donde:

T_{max} : Tensión máxima de la banda [N]

B : Ancho de banda. [mm]

Kn : Resistencia nominal a tracción de la banda [N]

S : Coeficiente de seguridad.

Para banda con cable de acero. $S = 8$

Para el resto de bandas. $S = 10$

En la Figura 5.28 se puede ver los diferentes tipos de tambores que aparecen en una banda transportadora, diferenciando los tipos A, B o C.

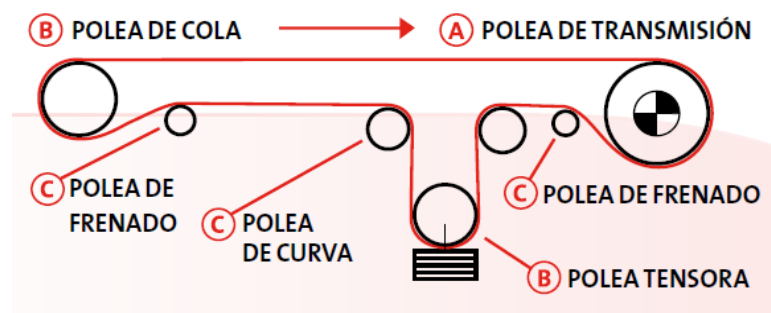


Figura 5.28: Tipos de tambores en una banda transportadora [3].

Si el valor de K_A está entre 0.3 y 0.6, los grupos de tambores del tipo A, B, C, pueden reducir su tamaño en una unidad.

Si el valor de K_A es menor de 0.3 los grupos de tambores del tipo A y B, pueden reducir su tamaño en dos unidades, y el C en una unidad.

Si el valor de K_A es mayor de 0.6 los se conserva el tamaño calculado de los grupos de tambores del tipo A, B y C.

5.6.4.3 Determinación de la velocidad, par y carga de los tambores

Otros parámetros a determinar para un diseño correcto de los tambores, son la velocidad de los tambores, el aumento de carga y el par que sufre el tambor motriz en el arranque.

Velocidad de los tambores

$$n_T = \frac{v \cdot 60}{D \cdot \pi} \quad (5.96)$$

Donde:

n : Velocidad de los tambores. [r.p.m.]

v : Velocidad de la banda. [m / s]

D : Diámetro de cada tambor. [m]

Carga del tambor motriz en el arranque

$$F_T = TA1 + TA2 / 9.81 \quad (5.97)$$

Donde:

F_T : Fuerza de carga del tambor motriz en arranque. [Kgf]

T_{1A} : Tensión del lado tenso en el arranque. [N]

T_{2A} : Tensión del lado flojo en el arranque. [N]

Par o torsión que sufre el tambor motriz en el arranque

$$M_A = \frac{F_A \cdot D}{2 \cdot 1000} \quad (5.98)$$

Donde:

M_A : Par o torsión que sufre el tambor en el arranque. [N·m]

D : Diámetro del tambor motriz. [m]

F_A : Fuerza tangencial en el arranque [N]

5.6.4.4 Determinación de las distancias de transición

Para finalizar el capítulo, se debe analizar las distancias de transición. Se le denomina distancia de transición al espacio existente entre la última estación de rodillos adyacente al tambor de cabeza o de cola de una cinta transportadora y los tambores mismos (ver Figura 5.29).

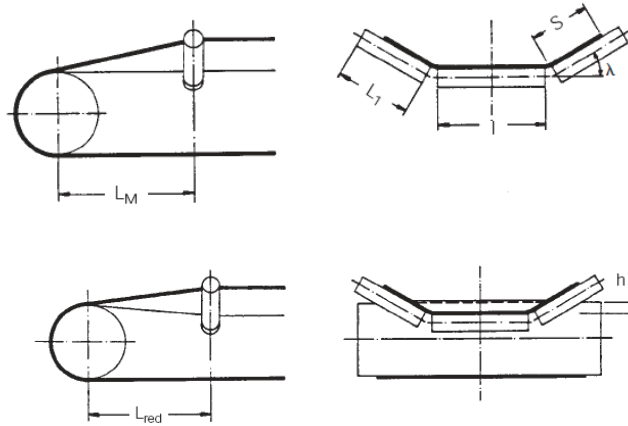


Figura 5.29: Longitudes de transición, con tambor sin elevar L_M y elevado L_{red} [2].

A lo largo de este tramo la banda pasa de la configuración de artesa, determinada por los ángulos de las estaciones portantes, a la plana del tambor y viceversa. Con ello, los bordes de la banda son sometidos a una tensión adicional, que actúa sobre los rodillos laterales. Generalmente la distancia de transición no tiene que ser inferior al ancho de la banda a fin de evitar sobre-esfuerzos.

En caso de que la distancia de transición L_M sea superior al paso de las estaciones portantes, es conveniente introducir en el tramo de transición y en estaciones con ángulo decrecientes unos rodillos laterales (llamadas estaciones de transición). De este modo la banda pasa gradualmente de la configuración de artesa a la plana, evitando así tensiones perjudiciales.

Para determinar cada uno de los valores de las longitudes de transición se debe resolver las siguientes ecuaciones:

$$L_M = x \cdot s \cdot \sin \lambda \quad (5.99)$$

$$h = \frac{s^2}{B} \cdot \sin \lambda \quad (5.100)$$

$$L_{red} = x \cdot (s \cdot \sin \lambda - h) \quad (5.101)$$

Siendo:

$$s = 0.5 \cdot (B - l) \quad (5.102)$$



Donde:

L_M : Distancia normal de transición. [mm]

s : Porción de la cinta en contacto con los rodillos. [mm]

l : longitud de los rodillos. [mm]

λ : Ángulo de artesa. [°]

L_{red} : Distancia transición reducida por descenso h . [mm]

h : Elevación del tambor. [mm]

x : Factor de carcasa.

$x = 8$ para bandas textiles.

$x = 16$ para bandas con refuerzo de cable de acero.



CAPITULO 6

Desarrollo del programa *DITRAN*

6.1 Introducción

El programa *DITRAN*, se ha desarrollado mediante la herramienta *GUIDE* de *MatLab* con el fin de realizar el diseño de una banda transportadora. El programa, también está enfocado para ayudar a los estudiantes a resolver y entender problemas relacionadas con esta materia, desarrollando su contenido de la forma más intuitiva y fácil posible. Aún así, también puede ser usado para otros fines externos. Pues cumple con las expectativas de un programa completo.

En este capítulo, se introducen los modos de funcionamiento del programa, sus características principales y sus variaciones, especificando cuales son los datos a introducir por el usuario.

6.2 Características de funcionamiento

Mediante el programa *DITRAN*, el usuario puede obtener las características necesarias para diseñar una cinta transportadora simple, dependiendo de las condiciones de funcionamiento y los materiales a transportar, realizando las diferentes variaciones posible que permite el programa.

El programa se ajusta al máximo a las características de diseño de las bandas de acuerdo con las normas *DIN 22101*, *ISO 5048* y *UNE 58204*, junto con catálogos de los fabricantes: *DUNLOP*, *PIRELLY* y *RULMEKA* (entre muchos otros).

A continuación se desarrolla el proceso que se deben llevar a cabo para obtener las características necesarias del diseño de la banda transportadora, mediante la justificación y detalles de cada una de las ventanas gráficas que componen este programa.

6.2.1 Acceso al programa


Para poder acceder al programa, el usuario dispondrá de dos opciones. La primera de ellas, será necesario tener instalado el programa *MatLab 2009* o una versión superior. El acceso al programa se debe realizar, a través de la unidad del CD/DVD, desde *MatLab* (lo habitual es que aparezca), en la siguiente dirección *E:\Programación\proyectobanda*. Una vez seleccionada esta carpeta, se debe introducir en la ventana "*Command Windows*" la palabra "*ditran*".

La otra forma de acceder, no es necesario tener instalado el programa *MatLab*. Para ello, será necesario ir desde Windows a la unidad de CD/DVD, y seguir la ruta que se detalla:

E:\Programación\proyectobanda\Ditran\distrib

En esta carpeta, se pulsará sobre el acceso directo *Ditran.exe*, en ese momento aparecerá una ventana de *MS-Dos*. A veces es necesario instalar un compilador que viene incluido en dicho archivo. La ventana de *MS-Dos* nos da la posibilidad de instalarlo automáticamente sin problemas.

El programa tardará alrededor de 10-15 segundos en ejecutarse.

Una vez ejecutado, aparecerá la ventana ilustrada en la *Figura 6.1*. Indicando el nombre del autor y tutora. Para acceder al propio programa, es necesario pulsar el botón de "Entrar". En caso de haber iniciado el programa por error, puede salir cerrando directamente el programa mediante el botón , de la esquina superior derecha.

Si se posiciona el cursor del ratón sobre este botón, se mostrará directamente una ayuda para guiar al usuario. Esta opción también estará presente en el resto del programa



Figura 6.1: Ventana de inicio del software de diseño de bandas transportadoras *DITRAN*.

6.2.2 Menú de inicio

Una vez se ha accedido al programa, aparecerá la ventana mostrada en la *Figura 6.2*. En ella se diferencian cuatro partes, la primera de ellas es la barra de herramientas de acceso directo, en la se encuentran los menús desplegables "Archivo", "Acceso Rápido" y "Ayuda". Debajo de la misma, se encuentra el entorno de trabajo, diferenciándose dos cuadros de acceso a otras ventanas. El primero de ellos se trata de un cuadro con botones de acceso, con el título "*DISEÑO Y CÁLCULO DE LA BANDA*", a su derecha se encuentra el cuadro donde se definirán las características finales de cada uno de los componente de la instalación, con el título de "*CARACTERÍSTICAS ELEMENTOS*" y finalmente aparece un espacio en el margen derecho de la pantalla, en él a medida que se ejecuta y determina las características de la banda, irá apareciendo un cuadro "*RESUMEN*" con las variables más importantes (ver *Figura 6.24* y *6.49*). A este menú inicial se volverá automáticamente después de introducir cada uno de los parámetros correspondientes a los diferentes apartados.



Figura 6.2: Menú de inicio del programa *DITRAN*.

En la barra de herramientas, se encuentran los menús desplegables que aparecen en la *Figura 6.3*.

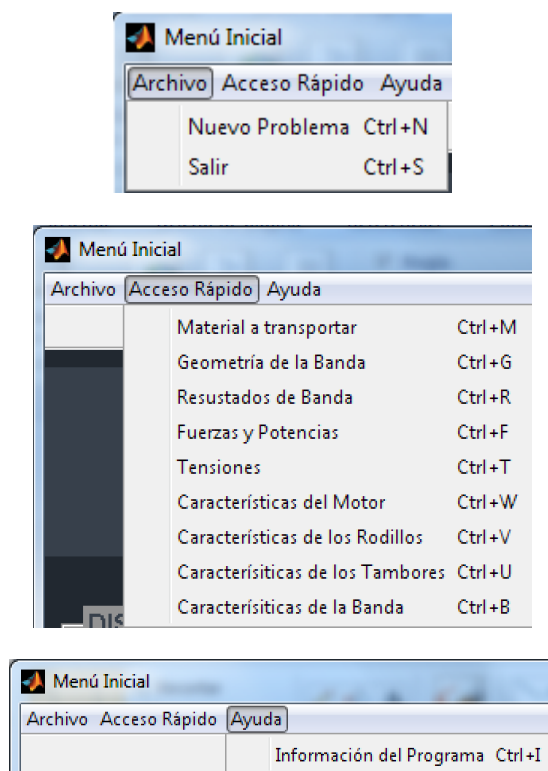


Figura 6.3: Barra de herramientas.

Estos menús desplegables, se repetirán a lo largo de todo el programa, en el caso del menú "Archivo", permitirá salir del programa y *resetear* todos los datos introducidos, volviendo al estado inicial del programa.


El menú "*Acceso rápido*" da la posibilidad al usuario de acceder a las 9 funciones principales de los cuadros inferiores (botones), para poder definir las características de la banda.

Por último, el menú "*Ayuda*" permite acceder a una ventana con la información acerca del autor, tutora y fecha de realización del proyecto, como se ve en la *Figura 6.4*.



Figura 6.4: Información del programa *DITRAN*.

Respecto a los cuadros inferiores, ambos están formados por botones, los cuales dan acceso a otras vistas que permiten completar el diseño de la banda. Al situar el cursor sobre cada uno de los botones, se desplegará un mensaje el cual da información relativa sobre el acceso a ese menú.

Al pulsar sobre los botones con icono , se despliega una ventana con información detallada sobre el acceso al menú correspondiente (botón situado a su derecha). Todos y cada uno de los diferentes menús de ayuda se podrán consultar igualmente una vez se haya accedido a cada una de las ventanas correspondientes. (Desde la barra de herramientas, menú "*Ayuda*").

Es importantes destacar, que si el usuario intenta acceder a cualquier de las opciones de cada una de los botones sin haber introducido las características de materiales o valores anteriores de forma ordenada, el programa mostrará un mensaje emergente de error indicando que debe antes introducir una serie de variables para poder acceder a ese submenú. En la *Figura 6.5* se puede ver uno de los 8 mensajes de error (uno por cada botón).

De la misma forma, si el usuario ya accedido a uno de las menús correspondiente (a cada botón), completando los diferentes datos que se solicitan y vuelve al menú inicial e intenta acceder al mismo menú (o anteriores), aparecerá el mensaje emergente de

advertencia mostrado en la *Figura 6.6*, advirtiéndole que si accede al menú de nuevo, perderá los datos introducidos con anterioridad.

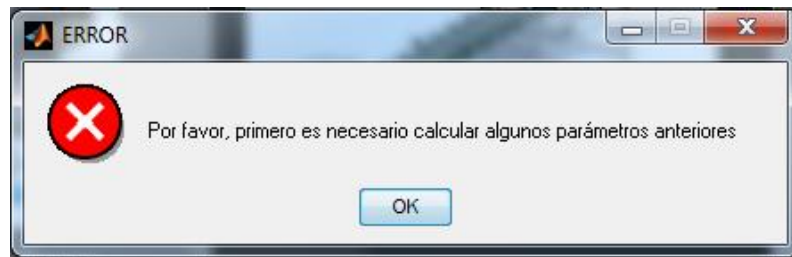


Figura 6.5: Mensaje de error por intentar acceder a un menú equivocado.

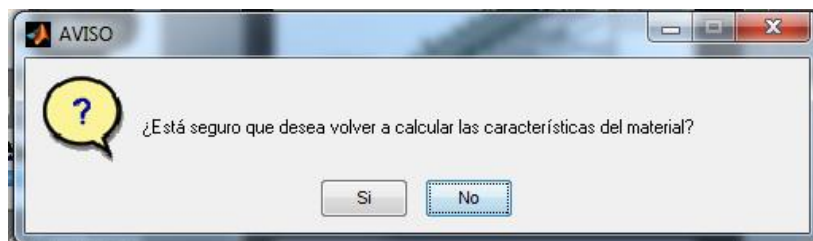


Figura 6.6: Mensaje de advertencia por intentar volver acceder al mismo menú.

6.2.3 Materiales a transportar




Haciendo *click* sobre el botón con icono , el programa abrirá automáticamente la ventana gráfica de la *Figura 6.7*. En ella se diferencia una barra de herramientas y tres cuadros, en la barra de herramientas, se puede acceder a tres submenús desplegables. El primero de ellos, "Archivo" permite reiniciar los datos de entrada, salir del programa y volver al menú de inicio. A continuación se encuentra el submenú "Datos de Materiales", el cual, pulsando sobre él, hará que se despliegan tres accesos directos a los menús de las características de los materiales, mostrados en las *Figuras 6.8*, *6.9* y *6.10*, siendo similar a los botones del cuadro inferior con título "INFORMACIÓN DE LOS MATERIALES". Finalmente, la opción "Ayuda", despliega la información referente a las características de esta ventana para poder guiar al usuario y poder completar los valores de la ventana de trabajo de manera correcta, dicha ayuda se puede ver en la *Figura 6.11*.



Figura 6.7: Menú características de los materiales.

Como se indicó en el párrafo anterior, el cuatro con el título *"INFORMACIÓN DE LOS MATERIALES"*, no es más que una ayuda bibliográfica para que el usuario pueda completar sin problema los valores de los diferentes recuadros de la ventana *"CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL"*. De acuerdo a esta sección, el usuario empezará introduciendo el nombre del material a transportar. A continuación tendrá un menú desplegable para definir el *"tipo de material"*, escogiendo entre un *"material uniforme, clasificado"* o *"material mixto, no clasificado"*. Después deberá introducir el tamaño máximo del material, el peso específico, la inclinación máxima de la banda, el ángulo de sobrecarga y ángulo de reposo.

Posteriormente deberá escoger entre las tres posibles *"tipos de abrasividad"* del material, pulsando sobre dicho menú desplegable aparecerán las opciones: *"muy abrasivo"*, *"no abrasivo"* o *"poco abrasivo"*.

Una vez se han completado todas las casillas conforme a las preferencias del usuario, se deberá pulsar sobre el botón de *"cálculo de ancho mínimo de banda y máxima velocidad"*, apareciendo en su parte inferior los valores que el programa calcula internamente.

Otra condición a tener en cuenta, es que cada uno de los valores a introducir están limitados, de forma que si el usuario introduce datos sin sentido aparecerán mensajes emergentes de error y de aviso, como los mostrados en la *Figura 6.12*, *Figura 6.13*, *Figura 6.14* y *Figura 6.15*. Por ejemplo si se introduce un valor de tamaño inferior a 2.5 mm, se mostrará un mensaje de error advirtiéndole que el valor mínimo posible es de 2.5

mm de acuerdo con [1]. Lo mismo ocurrirá si se introduce un peso específico inferior a 50 kg/m^3 . Respecto a la inclinación máxima de la banda y el ángulo de sobrecarga ocurrirá de forma similar, siendo la inclinación máxima 25° y el ángulo de sobrecarga 30° , esto se debe a que el programa solo estudiará el caso de bandas textiles lisas.

Tamaño de los materiales

Características de los Materiales II

Material transportado Peso específico kg/m^3	Ancho de la cinta mm	Tamaño máx. del material mm		Material transportado Peso específico kg/m^3	Ancho de la cinta mm	Tamaño máx. del material mm		Material transportado Peso específico kg/m^3	Ancho de la cinta mm	Tamaño máx. del material mm	
		En trazo	En corte			En trazo	En corte			En trazo	En corte
Casón en polvo	300	50	75	Asfalto en trozos	300	50	75	Arcilla húmeda	300	50	75
Carbón vegetal	400	70	100	Cenizas	400	70	100	Cemento	400	70	100
Cosque	500	90	150	Cenizas de vidrio	500	90	150	Cascos húmedos	500	90	150
Algodón	600	110	200	Yodo en trozos	600	110	200	Minerales (salida de minas)	600	110	200
Lofa en tallas	700	130	250	Tierra	700	130	250	Arena húmeda	700	130	250
Otros materiales que tengan un peso específico	800	150	300	Otros materiales de peso específico	800	150	300	Otros materiales de peso específico	800	150	300
500 kg/m^3	900	170	350	1 250 kg/m^3	900	170	350	2 000 kg/m^3	900	170	350
1 000	1 000	200	400	1 000	1 000	200	400	1 000	1 000	200	400
1 100	1 100	230	450	1 100	1 100	230	450	1 100	1 100	230	450
1 200	1 200	260	500	1 200	1 200	260	500	1 200	1 200	260	500
1 300	1 300	300	550	1 300	1 300	300	550	1 300	1 300	300	550
Carbón mineral	300	50	75	Caliza en trozos pequeños	300	50	75	Barita	300	50	75
Lignito	400	70	100	Greda	400	70	100	Hormigón	400	70	100
Pulvo de altos hornos	500	90	150	Rocas volcánicas en trozos	500	90	150	Minerales (salida de minas)	500	90	150
Sol marino	600	110	200	Arena seca	600	110	200	Tierra arcillosa	600	110	200
Escorias de carbón mineral	700	130	250	Vidrio	700	130	250	Otros materiales de peso específico	700	130	250
Otros materiales de peso específico	800	150	300	Otros materiales de peso específico	800	150	300	1 000	1 000	200	400
750 kg/m^3	900	170	350	1 500 kg/m^3	900	170	350	1 100	1 100	230	450
1 000	1 000	200	400	1 000	1 000	200	400	1 200	1 200	260	500
1 100	1 100	230	450	1 100	1 100	230	450	1 300	1 300	300	550
1 200	1 200	260	500	1 200	1 200	260	500	1 000	1 000	200	400
1 300	1 300	300	550	1 300	1 300	300	550	1 100	1 100	230	450
1 000 kg/m^3	1 000	200	400	1 000	1 000	200	400	1 200	1 200	260	500
1 100	1 100	230	450	1 100	1 100	230	450	1 300	1 300	300	550
1 200	1 200	260	500	1 200	1 200	260	500	1 000	1 000	200	400
1 300	1 300	300	550	1 300	1 300	300	550	1 100	1 100	230	450
1 000 kg/m^3	1 000	200	400	1 000	1 000	200	400	1 200	1 200	260	500
1 100	1 100	230	450	1 100	1 100	230	450	1 300	1 300	300	550
1 200	1 200	260	500	1 200	1 200	260	500	1 000	1 000	200	400
1 300	1 300	300	550	1 300	1 300	300	550	1 100	1 100	230	450

Volver

Figura 6.8: Ventana con los tamaños de los materiales.

Características de los Materiales I

COMBUSTIBLES

MATERIAL	Estado y tamaño (en mm)	Peso específico T/m^3	Ángulo de Reposo α	Inclin. máx. en banda β	Fluides	Otras propiedades
ANTRACITA	3	1,0		18°	Normal.	No abrasiva.
ANTRACITA cribada	15	0,9 - 1,0	35°	16°	Fluida.	No abrasiva.
COKE suelto	3	0,35-0,55	$30^\circ-45^\circ$	18°	Normal.	Muy alza. Friable.
COKE de petróleo calcinado	15	0,5-0,7	$30^\circ-45^\circ$	20°	Normal.	Puede ser barrido por el viento.
COKE metalúrgico salido del horno	75-300	0,4-0,5	$30^\circ-45^\circ$	18°	Mala.	Muy abrasivo. Friable.
CARBÓN vegetal	10-75	0,3-0,5		18°	Normal.	Pegajoso.
HULLA bituminosa sin lavar	15		27°		Normal.	Abrasiva.
HULLA bituminosa (todo uno)	15	0,8 - 0,9		18°	Normal.	
HULLA bituminosa cribada	15	0,7-0,8	38°	22°	Normal.	No abras. Algo corr.
HULLA bituminosa 50 mesh	15	0,7-0,9	40°	16°	Normal.	No abras. Algo corr.
HULLA bituminosa 50 mesh	3	0,8 - 0,9	35°	24°	Poco fluida.	No abras. Algo corr.
LIGNITO	15	0,7-0,9	45°	$18^\circ-22^\circ$	Normal.	Abrasiva. Algo corr.
LIGNITO compactado		1,0	38°			
LIGNITO secado al aire	15	0,7-0,9	30°	20°	Normal.	No abrasivo.
TURBA		0,3-0,4	35°			

FERTILIZANTES

MATERIAL	Estado y tamaño (en mm)	Peso específico T/m^3	Ángulo de Reposo α	Inclin. máx. en banda β	Fluides	Otras propiedades
COMPOST		0,5-0,8			Mala.	No abrasivo.
FOSFATO trisódico	3	1,0			Normal.	Abrasivo.
FOSFATO trisódico Granulada	1,0	26"	11°		Buena.	No abras.
FOSFATO trisódico Pulveriz.	0,8	40"	25°		Normal.	No abras.
FOSFATO ácido		0,9	26"	13°	Muy buena.	No abrasivo.
FOSFATO sódico	0,8 - 1,0	27"	16°		Normal.	Abrasivo.
FOSFATO Super.	0,8 - 0,9	45"	30"		Mala.	Abrasivo.
FOSFATO de roca	1,2 - 1,4	25"	30"	12° - 15°	Buena.	Abrasivo.
FOSFATO de roca Pulv.	1,0	40"	23"		Media.	Abrasivo.
FOSFATO de Gafsa	0,95					
FOSFATO de Agrolon	0,8					
FOSFATO de Rono	1,1					
FOSFATO trisódico	Muy fino	0,35 - 0,8	45"		Mala.	No abrasivo.
GUANO seco	1,1	35"	18"		Normal.	Abrasivo.
NITRATO sódico	75	1,1 - 1,4	24"	11"	Buena.	No abrasivo.
NITRATO amónico	3 - 10	0,7	$30^\circ-45^\circ$	23"	Normal.	Muy corr.
NITRATO potásico		1,2	20° - 30°		Muy buena.	Muy abrasivo.
POTASAS (Murato)	Todo uno	1,2	$30^\circ-45^\circ$		Normal.	Muy abrasiva.
SULFATO potásico	3	0,6 - 0,8	45"		Normal.	Abrasivo. Se comp. Bajo pres.
SULFATO amónico		0,7-0,9	40"	10"	Normal.	No abrasivo.
SALES potásicas	Silvina	1,0 - 1,3	20° - 30°		Normal.	No abrasiva.
UREA Prills		0,7	25"		Muy buena.	No abrasiva.

Tierras, Piedras y Cementos

Combustibles y Fertilizantes

Productos diversos

Minerales

Alimentos y otros productos vegetales

Cerrar

Figura 6.9: Ventana de características de los materiales, catálogo Agustín López Roa.

Características de los Materiales II

Peso específico, aparente, densidad, ángulo de reposo y ángulo de sobrecarga dinámica de los materiales.
Máxima inclinación recomendada del transportador, en función del tipo de material. Datos orientativos.

MATERIAL	Peso específico kg/m³	Máxima inclinación recomendada	Ángulo de reposo	Ángulo de sobrecarga dinámica
Grados	Grados	Grados	Grados	
Alúmina	3200-3500	10-12	A.	20-30
Alúmina	4500	12	N.A.	20-30
Alúmina	1000-1200	30-35	N.A.	35
Alúmina	1200-1400	18	N.A.	45
Alúmina	1500-1800	15-17	N.A.	35
Alúmina	1800-2100	12	P.A.	45
Alúmina	2100-2400	10	P.A.	45
Alúmina	2400-2700	8	P.A.	45
Alúmina	2700-3000	5	P.A.	45
Alúmina	3000-3300	3	P.A.	45
Alúmina	3300-3600	2	P.A.	45
Alúmina	3600-3900	1	P.A.	45
Alúmina	3900-4200	0	P.A.	45
Alúmina	4200-4500	0	P.A.	45
Alúmina	4500-4800	0	P.A.	45
Alúmina	4800-5100	0	P.A.	45
Alúmina	5100-5400	0	P.A.	45
Alúmina	5400-5700	0	P.A.	45
Alúmina	5700-6000	0	P.A.	45
Alúmina	6000-6300	0	P.A.	45
Alúmina	6300-6600	0	P.A.	45
Alúmina	6600-6900	0	P.A.	45
Alúmina	6900-7200	0	P.A.	45
Alúmina	7200-7500	0	P.A.	45
Alúmina	7500-7800	0	P.A.	45
Alúmina	7800-8100	0	P.A.	45
Alúmina	8100-8400	0	P.A.	45
Alúmina	8400-8700	0	P.A.	45
Alúmina	8700-9000	0	P.A.	45
Alúmina	9000-9300	0	P.A.	45
Alúmina	9300-9600	0	P.A.	45
Alúmina	9600-9900	0	P.A.	45
Alúmina	9900-10200	0	P.A.	45
Alúmina	10200-10500	0	P.A.	45
Alúmina	10500-10800	0	P.A.	45
Alúmina	10800-11100	0	P.A.	45
Alúmina	11100-11400	0	P.A.	45
Alúmina	11400-11700	0	P.A.	45
Alúmina	11700-12000	0	P.A.	45
Alúmina	12000-12300	0	P.A.	45
Alúmina	12300-12600	0	P.A.	45
Alúmina	12600-12900	0	P.A.	45
Alúmina	12900-13200	0	P.A.	45
Alúmina	13200-13500	0	P.A.	45
Alúmina	13500-13800	0	P.A.	45
Alúmina	13800-14100	0	P.A.	45
Alúmina	14100-14400	0	P.A.	45
Alúmina	14400-14700	0	P.A.	45
Alúmina	14700-15000	0	P.A.	45
Alúmina	15000-15300	0	P.A.	45
Alúmina	15300-15600	0	P.A.	45
Alúmina	15600-15900	0	P.A.	45
Alúmina	15900-16200	0	P.A.	45
Alúmina	16200-16500	0	P.A.	45
Alúmina	16500-16800	0	P.A.	45
Alúmina	16800-17100	0	P.A.	45
Alúmina	17100-17400	0	P.A.	45
Alúmina	17400-17700	0	P.A.	45
Alúmina	17700-18000	0	P.A.	45
Alúmina	18000-18300	0	P.A.	45
Alúmina	18300-18600	0	P.A.	45
Alúmina	18600-18900	0	P.A.	45
Alúmina	18900-19200	0	P.A.	45
Alúmina	19200-19500	0	P.A.	45
Alúmina	19500-19800	0	P.A.	45
Alúmina	19800-20100	0	P.A.	45
Alúmina	20100-20400	0	P.A.	45
Alúmina	20400-20700	0	P.A.	45
Alúmina	20700-21000	0	P.A.	45
Alúmina	21000-21300	0	P.A.	45
Alúmina	21300-21600	0	P.A.	45
Alúmina	21600-21900	0	P.A.	45
Alúmina	21900-22200	0	P.A.	45
Alúmina	22200-22500	0	P.A.	45
Alúmina	22500-22800	0	P.A.	45
Alúmina	22800-23100	0	P.A.	45
Alúmina	23100-23400	0	P.A.	45
Alúmina	23400-23700	0	P.A.	45
Alúmina	23700-24000	0	P.A.	45
Alúmina	24000-24300	0	P.A.	45
Alúmina	24300-24600	0	P.A.	45
Alúmina	24600-24900	0	P.A.	45
Alúmina	24900-25200	0	P.A.	45
Alúmina	25200-25500	0	P.A.	45
Alúmina	25500-25800	0	P.A.	45
Alúmina	25800-26100	0	P.A.	45
Alúmina	26100-26400	0	P.A.	45
Alúmina	26400-26700	0	P.A.	45
Alúmina	26700-27000	0	P.A.	45
Alúmina	27000-27300	0	P.A.	45
Alúmina	27300-27600	0	P.A.	45
Alúmina	27600-27900	0	P.A.	45
Alúmina	27900-28200	0	P.A.	45
Alúmina	28200-28500	0	P.A.	45
Alúmina	28500-28800	0	P.A.	45
Alúmina	28800-29100	0	P.A.	45
Alúmina	29100-29400	0	P.A.	45
Alúmina	29400-29700	0	P.A.	45
Alúmina	29700-30000	0	P.A.	45
Alúmina	30000-30300	0	P.A.	45
Alúmina	30300-30600	0	P.A.	45
Alúmina	30600-30900	0	P.A.	45
Alúmina	30900-31200	0	P.A.	45
Alúmina	31200-31500	0	P.A.	45
Alúmina	31500-31800	0	P.A.	45
Alúmina	31800-32100	0	P.A.	45
Alúmina	32100-32400	0	P.A.	45
Alúmina	32400-32700	0	P.A.	45
Alúmina	32700-33000	0	P.A.	45
Alúmina	33000-33300	0	P.A.	45
Alúmina	33300-33600	0	P.A.	45
Alúmina	33600-33900	0	P.A.	45
Alúmina	33900-34200	0	P.A.	45
Alúmina	34200-34500	0	P.A.	45
Alúmina	34500-34800	0	P.A.	45
Alúmina	34800-35100	0	P.A.	45
Alúmina	35100-35400	0	P.A.	45
Alúmina	35400-35700	0	P.A.	45
Alúmina	35700-36000	0	P.A.	45
Alúmina	36000-36300	0	P.A.	45
Alúmina	36300-36600	0	P.A.	45
Alúmina	36600-36900	0	P.A.	45
Alúmina	36900-37200	0	P.A.	45
Alúmina	37200-37500	0	P.A.	45
Alúmina	37500-37800	0	P.A.	45
Alúmina	37800-38100	0	P.A.	45
Alúmina	38100-38400	0	P.A.	45
Alúmina	38400-38700	0	P.A.	45
Alúmina	38700-39000	0	P.A.	45
Alúmina	39000-39300	0	P.A.	45
Alúmina	39300-39600	0	P.A.	45
Alúmina	39600-39900	0	P.A.	45
Alúmina	39900-40200	0	P.A.	45
Alúmina	40200-40500	0	P.A.	45
Alúmina	40500-40800	0	P.A.	45
Alúmina	40800-41100	0	P.A.	45
Alúmina	41100-41400	0	P.A.	45
Alúmina	41400-41700	0	P.A.	45
Alúmina	41700-42000	0	P.A.	45
Alúmina	42000-42300	0	P.A.	45
Alúmina	42300-42600	0	P.A.	45
Alúmina	42600-42900	0	P.A.	45
Alúmina	42900-43200	0	P.A.	45
Alúmina	43200-43500	0	P.A.	45
Alúmina	43500-43800	0	P.A.	45
Alúmina	43800-44100	0	P.A.	45
Alúmina	44100-44400	0	P.A.	45
Alúmina	44400-44700	0	P.A.	45
Alúmina	44700-45000	0	P.A.	45
Alúmina	45000-45300	0	P.A.	45
Alúmina	45300-45600	0	P.A.	45
Alúmina	45600-45900	0	P.A.	45
Alúmina	45900-46200	0	P.A.	45
Alúmina	46200-46500	0	P.A.	45
Alúmina	46500-46800	0	P.A.	45
Alúmina	46800-47100	0	P.A.	45
Alúmina	47100-47400	0	P.A.	45
Alúmina	47400-47700	0	P.A.	45
Alúmina	47700-48000	0	P.A.	45
Alúmina	48000-48300	0	P.A.	45
Alúmina	48300-48600	0	P.A.	45
Alúmina	48600-48900	0	P.A.	45
Alúmina	48900-49200	0	P.A.	45
Alúmina	49200-49500	0	P.A.	45
Alúmina	49500-49800	0	P.A.	45
Alúmina	49800-50100	0	P.A.	45
Alúmina	50100-50400	0	P.A.	45
Alúmina	50400-50700	0	P.A.	45
Alúmina	50700-51000	0	P.A.	45
Alúmina	51000-51300	0	P.A.	45
Alúmina	51300-51600	0	P.A.	45
Alúmina	51600-51900	0	P.A.	45
Alúmina	51900-52200	0	P.A.	45
Alúmina	52200-52500	0	P.A.	45
Alúmina	52500-52800	0	P.A.	45
Alúmina	52800-53100	0	P.A.	45
Alúmina	53100-53400	0	P.A.	45
Alúmina	53400-53700	0	P.A.	45
Alúmina	53700-54000	0	P.A.	45
Alúmina	54000-54300	0	P.A.	45
Alúmina	54300-54600	0	P.A.	45
Alúmina	54600-54900	0	P.A.	45
Alúmina	54900-55200	0	P.A.	45
Alúmina	55200-55500	0	P.A.	45
Alúmina	55500-55800	0	P.A.	45
Alúmina	55800-56100	0	P.A.	45
Alúmina	56100-56400	0	P.A.	45
Alúmina	56400-56700	0	P.A.	45
Alúmina	56700-57000	0	P.A.	45
Alúmina	57000-57300	0	P.A.	45
Alúmina	57300-57600	0	P.A.	45
Alúmina	57600-57900	0	P.A.	45
Alúmina	57900-58200	0	P.A.	45
Alúmina	58200-58500	0	P.A.	45
Alúmina	58500-58800	0	P.A.	45
Alúmina	58800-59100	0	P.A.	45
Alúmina	59100-59400	0	P.A.	45
Alúmina	59400-59700	0	P.A.	45
Alúmina	59700-60000	0	P.A.	45
Alúmina	60000-60300	0	P.A.	45
Alúmina	60300-60600	0	P.A.	45
Alúmina	60600-60900	0	P.A.	45
Alúmina	60900-61200	0	P.A.	45
Alúmina	61200-61500	0	P.A.	45
Alúmina	61500-61800	0	P.A.	45
Alúmina	61800-62100	0	P.A.	45
Alúmina	62100-62400	0	P.A.	45
Alúmina	62400-62700	0	P.A.	45
Alúmina	62700-63000	0	P.A.	45
Alúmina	63000-63300	0	P.A.	45
Alúmina	63300-63600	0	P.A.	45
Alúmina	63600-63900	0	P.A.	45
Alúmina	63900-64200	0	P.A.	45
Alúmina	64200-64500	0	P.A.	45
Alúmina	64500-64800	0	P.A.	45
Alúmina	64800-65100	0	P.A.	45
Alúmina	65100-65400	0	P.A.	45
Alúmina	65400-65700	0	P.A.	45
Alúmina	65700-66000	0	P.A.	45
Alúmina	66000-66300	0	P.A.	45
Alúmina	66300-66600	0	P.A.	45
Alúmina	66600-66900	0	P.A.	45
Alúmina	66900-67200	0	P.A.	45
Alúmina	67200-67500	0	P.A.	45
Alúmina	67500-67800	0	P.A.	45
Alúmina	67800-68100	0	P.A.	45
Alúmina	68100-68400	0	P.A.	45
Alúmina	68400-68700	0	P.A.	45
Alúmina	68700-69000	0	P.A.	45
Alúmina	69000-69300	0	P.A.	45
Alúmina	69300-69600	0	P.A.	45
Alúmina	69600-69900	0	P.A.	45
Alúmina	69900-70200	0	P.A.	45
Alúmina	70200-70500	0	P.A.	45
Alúmina	70500-70800	0	P.A.	45
Alúmina	70800-71100	0	P.A.	45
Alúmina	71100-71400	0	P.A.	45
Alúmina	71400-71700	0	P.A.	45
Alúmina	71700-72000	0	P.A.	45
Alúmina	72000-72300	0	P.A.	45
Alúmina	72300-72600	0	P.A.	45
Alúmina	72600-72900	0	P.A.	45
Alúmina	72900-73200	0	P.A.	45
Alúmina	73200-73500	0	P.A.	45
Alúmina	73500-73800	0	P.A.	45
Alúmina	73800-74100	0	P.A.	45
Alúmina	74100-74400	0	P.A.	45
Alúmina	74400-74700	0	P.A.	45
Alúmina	74700-75000	0	P.A.	45
Alúmina	75000-75300	0	P.A.	45
Alúmina	75300-75600	0	P.A.	45
Alúmina	75600-75900	0</		

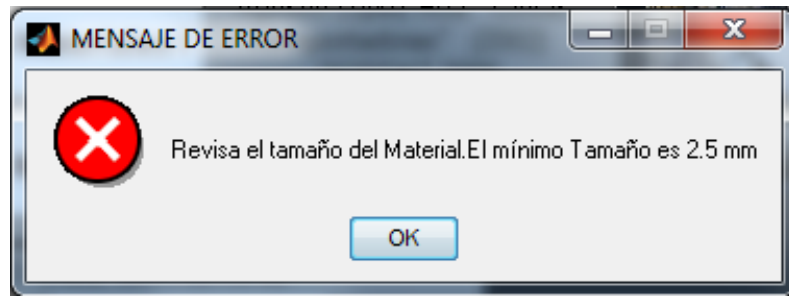


Figura 6.12: Mensaje de error referente al tamaño del material.

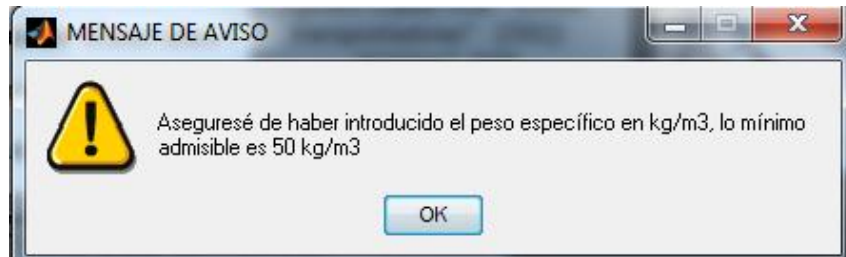


Figura 6.13: Mensaje de aviso referente al peso específico del material.

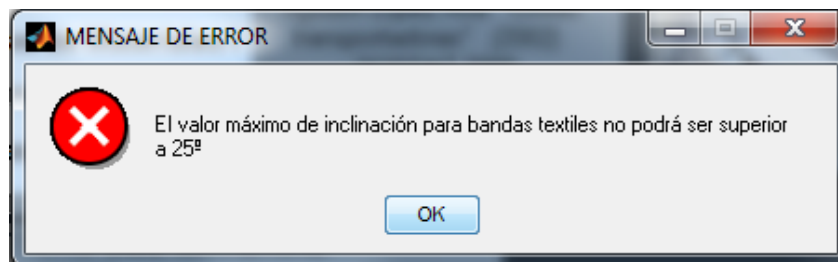


Figura 6.14: Mensaje de error referente al ángulo de inclinación máxima de la banda.

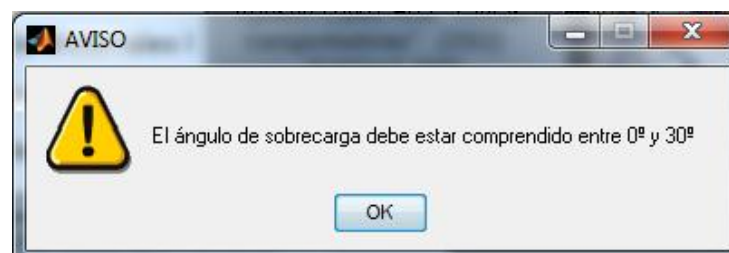
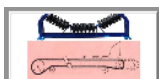


Figura 6.15: Mensaje de aviso referente al ángulo de sobrecarga.

Finalmente, al pulsar el botón de "Cerrar", automáticamente se volverá a la ventana del "Menú inicial" para poder acceder al siguiente menú. Ahora en el menú inicial aparecerá el cuadro "RESUMEN", citado en el apartado anterior, con los datos más significativos calculados.

6.2.4 Geometría de banda y rodillos

Al siguiente menú se accede pulsando sobre el botón cuyo icono es: . Abriéndose una ventana gráfica como la mostrada en la Figura 6.16.

GEOMETRÍA DE LA BANDA Y CARACTERÍSTICA DE LOS RODILLOS

DATOS PARCIALES DE BANDA
 Ancho mínimo de banda 1000 [mm] Velocidad máxima. 4.19 [m/s]

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS
 Sentido de la Carga.
☐ Carga en Ascenso
☐ Carga en Descenso
☐ Carga Horizontal

Longitud y desnivel de la Banda.
 Longitud de la Banda [m]
 Inclinación [°]
 NOTA: Es importante señalar que la inclinación de las bandas textiles lisas tienen un límite de 25°.

CONFIGURACIÓN DE LOS RODILLOS
 Disposición de los rodillos.
☐ Disposición con 1 rodillo Plano
☐ Disposición en Artesa con 2 Rodillos
☐ Disposición en Artesa con 3 Rodillos

Longitud del rodillo l [m] Ángulo de artesa λ [°]
 Ver tabla del margen derecho.
 Longitud / Ancho de Banda.
 Los valores normales del ángulo de artesa son: 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45° y 50°.

Calcular Capacidad Recomendada.

TABLA: Longitud de los rodillos según ancho mínimo de banda

Belt Width B (mm)	Troughing Type		
	Flat	2 roll	3 roll
300	380	200	-
400	500	250	160
500	600	315	200
600	700	340	250
650	750	380	250
800	950	465	315
1000	1150	600	380
1200	1400	700	465
1400	1600	800	530
1600	1800	900	600
1800	2000	1000	670
2000	2200	1100	750
2200	2500	1250	800

Figura 6.16: Menú de geometría de la banda y configuración de rodillos.

En esta ventana (como en el resto), aparecerá una barra de herramientas, dando al usuario la capacidad de realizar las mismas acciones que en el menú anterior, pues al desplegar la opción "Archivo" permite reiniciar los datos de entrada, salir del programa y volver al menú inicial, la opción "Ayuda", abrirá una ventana con la información necesaria para guiar al usuario en este menú y poder completar los valores que aparecen en la parte inferior (ver Figura 6.17).

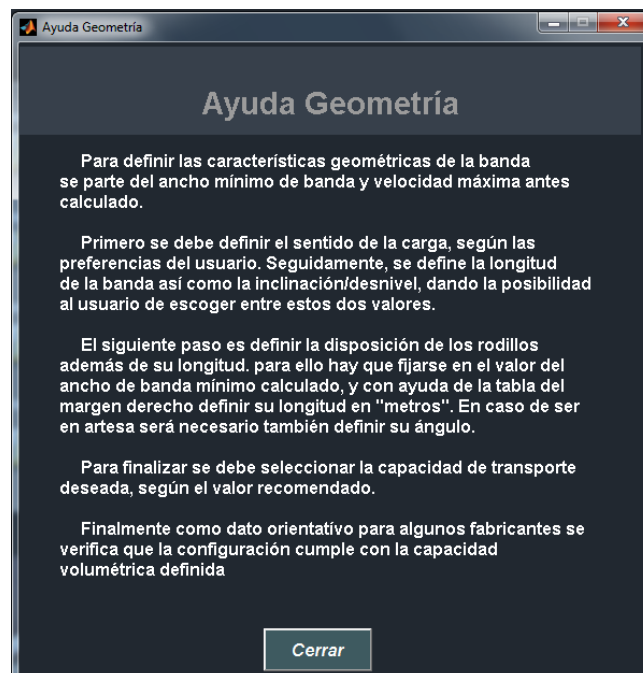


Figura 6.17: Ventana de ayuda para determinar la geometría de la banda.

Respecto a la ventana de edición de datos, el primero de los cuadros, con título "*DATOS PARCIALES DE BANDA*", da información al usuario sobre los valores obtenidos en la ventana anterior (ancho de banda y velocidad).

El siguiente de los cuadros, titulado "*CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS*" engloba por un lado la selección de la dirección de la trayectoria de la carga, pudiendo escoger entre:

- ✓ *Carga en ascenso.*
- ✓ *Carga en descenso.*
- ✓ *Carga horizontal.*

Una vez se selecciona una de estas opciones, aparecerá a su derecha una imagen de acuerdo con la elección escogida. Después el usuario debe introducir la longitud total de la banda y su inclinación o altura (pudiendo escoger una de entre estas dos últimas).

En la parte central aparece el cuadro "*CARACTERÍSTICAS DE LOS RODILLOS*" en el que se deberá seleccionar la disposición de los rodillos y la longitud de los mismo, teniendo en cuenta la tabla que aparece en su margen derecho, en la que se puede ver el valor del ancho de banda anteriormente calculado para poder seleccionar de forma correcta dicha longitud. También se debe introducir el ángulo de artesa de acuerdo con las opciones mostradas en el texto que aparece bajo el mismo.

Una vez introducido estos parámetros, se debe pulsar el botón "*Calcular capacidad recomendada*", apareciendo debajo, el cuadro mostrado en la *Figura 6.18*, en el que se puede ver "*La capacidad de transporte máxima*", "*La capacidad requerida a transportar*" (cuyo valor debe especificar el usuario), y el botón de "*Cálculo de capacidad volumétrica*". Al pulsar sobre dicho botón, aparecerá por un lado el valor de "*La capacidad volumétrica*" para el valor de la capacidad requerida introducida, y por otro lado en el margen derecho, bajo la tabla, un botón para salir al menú inicial.

El valor de la capacidad volumétrica, viene dado para poder contrastar si son válidos los parámetros seleccionados de acuerdo con la disposiciones de los rodillos que algunos fabricantes especifican respecto a este valor. (Aunque el propio programa automáticamente lo verificará en la siguiente ventana).



CONFIGURACIÓN DE LOS RODILLOS

Disposición de los rodillos:

- ☒ Disposición con 1 rodillo Plano
- ☐ Disposición en Artesa con 2 Rodillos
- ☐ Disposición en Artesa con 3 Rodillos

Longitud del rodillo l **0.38** [m] Ángulo de artesa λ **35** [°]
 Ver tabla del margen derecho. Los valores normales del ángulo de artesa son: 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45° y 50°.

Calcular Capacidad Recomendada.

CAPACIDAD

Capacidad de Transporte Max **702.469** [tn/h]
 Capacidad Requerida **0** [tn/h]
 Capacidad Volumétrica [m³/h]

Calcular Capacidad Volumétrica.

300	380	200	-
400	500	250	160
500	600	315	200
600	700	340	250
650	750	380	250
800	950	465	315
1000	1150	600	380
1200	1400	700	465
1400	1600	800	530
1600	1800	900	600
1800	2000	1000	670
2000	2200	1100	750
2200	2500	1250	800

Figura 6.18: Menú de geometría de la banda y configuración de rodillos.

Los mensajes emergentes de error y aviso que pueden aparecer en esta ventana, podrán aparecer por las siguientes causas:

- ✓ En caso de introducir en la inclinación o desnivel de la banda un valor que supere el máximo establecido en la ventana anterior de "*Características de los materiales*". Se corregirá automáticamente el valor introducido y se mostrará en su lugar, el máximo valor permitido. Los mensajes se puede leer en la *Figura 6.19* y *Figura 6.20*.
- ✓ Si la longitud los rodillos se introduce en milímetros (en vez en metros). Se corregirá automáticamente y aparecerá el mensaje de error de la *Figura 6.21*. Al igual que si el valor introducido no está normalizado.
- ✓ Si el usuario introduce en el ángulo de artesa un valor por encima de 50° o si no está normalizado mostrará los dos mensajes de la *Figura 6.22*.
- ✓ Además si en alguno de los "*edit text*" se introduce algún valor negativo o de tipo texto, aparecerá el mensaje de error de la *Figura 6.23*, situando en él automáticamente un valor de 0.



Figura 6.19: Error por introducir la inclinación mayor que la máxima permitida.



Figura 6.20: Error por introducir el desnivel mayor que el máximo permitido.



Figura 6.21: Error por introducir la longitud de los rodillos en metros.

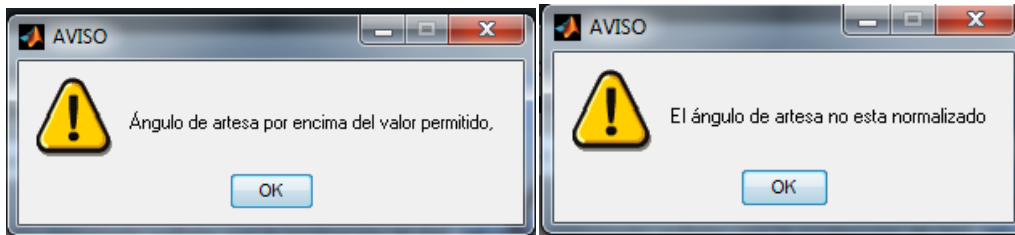



Figura 6.22: Error por introducir la longitud de los rodillos en metros o no normalizada.



Figura 6.23: Error por introducir valores numéricos o texto.

6.2.5 Ancho de banda y velocidad final



Mediante el icono , se accede al menú que permite calcular los valores definitivos de velocidad y ancho de banda, pues como se explicó en el capítulo 5, en el caso de introducir una capacidad requerida mayor que la máxima permitida para los datos seleccionados hasta el momento, se deberá volver a calcular los parámetros de la velocidad y ancho de banda de acuerdo con la nueva capacidad.

Al acceder al menú, aparecerá la ventana de la *Figura 6.24*, en la que únicamente, permite al usuario acceder al menú de herramientas y seleccionar "Archivo" o "Ayuda", desplegando las mismas opciones que las del menú anterior, permitiendo reiniciar los parámetros calculadas (de la ventana actual), salir del programa o volver al "Menú de inicio". La ventana de ayuda referente al cálculo de ancho de banda y velocidad final, se muestra en la *Figura 6.25*.

Por otro parte, la otra opción, es pulsar el botón "Calcular", el cual hará que aparezca los valores citados en el cuadro "RESULTADOS CALCULADOS", estos son:

- ✓ *Velocidad calculada*, de acuerdo a la nueva capacidad requerida.
- ✓ *Velocidad máxima de la banda* para los parámetros anteriores.
- ✓ *Ancho de banda*.
- ✓ *Área del material transportado sobre la banda*.

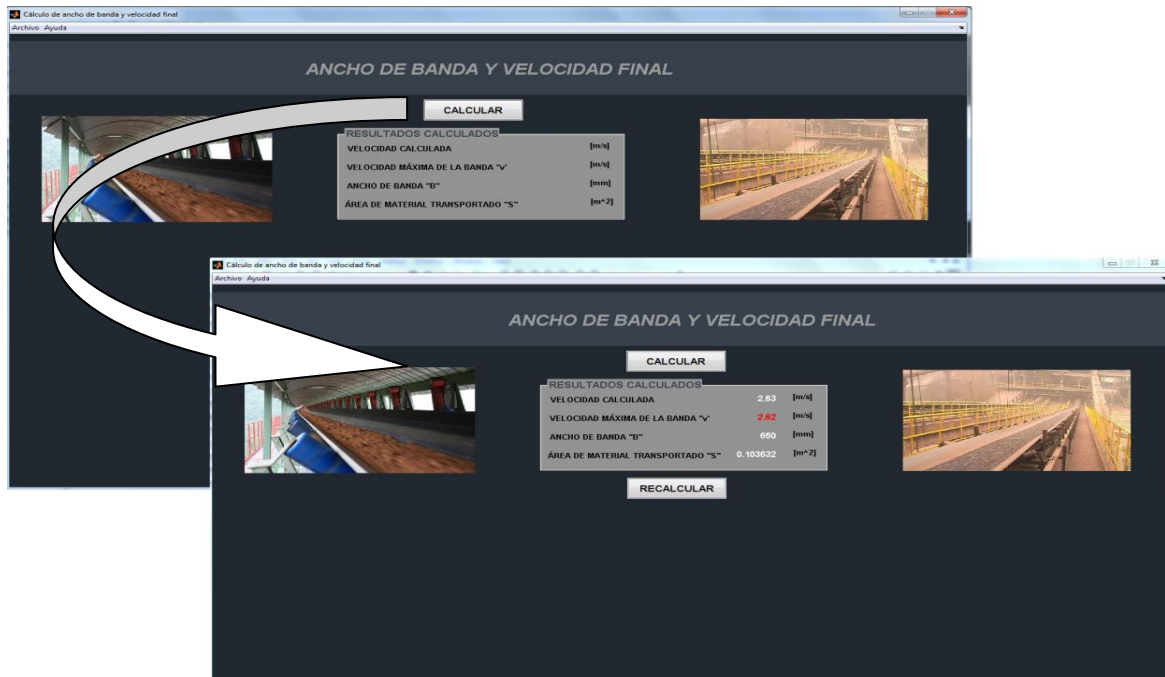


Figura 6.24: Menú ancho de banda y velocidad final (I).

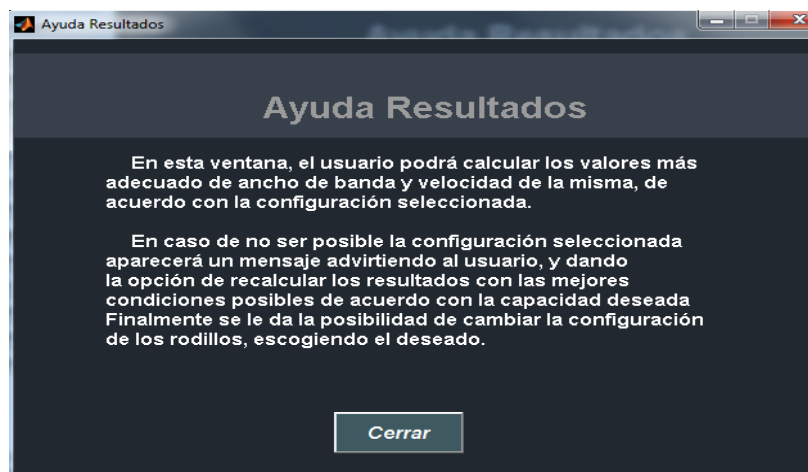


Figura 6.25: Ayuda para calcular los resultados de ancho de banda y velocidad.

En caso de haber seleccionado (en la ventana anterior), una capacidad requerida mayor que la máxima permitida con los datos del inicio, aparecerá el aviso de la Figura 6.26 y hará que el resultado de la velocidad máxima de banda se muestre de color rojo. Con esto se advierte al usuario que se debe aumentar o bien la velocidad o bien el ancho de banda para cumplir los requisitos establecidos.

Además aparecerá debajo de dicho cuadro un nuevo botón para "recalcular" estos valores, dándole la posibilidad al usuario de volver a establecer la configuración de los rodillos que más le convenga, detallándose los parámetros de velocidad y ancho de banda recalculados. El botón "Cerrar", en esta ocasión, aparecerá cuando se seleccione la nueva configuración. Todo ello se puede ver en la Figura 6.27.

En caso de seleccionar una capacidad menor o igual a la máxima permitida para los datos anteriores, no aparecerá el botón "recalcular" y en su defecto será revelado automáticamente el botón "Cerrar" en la parte inferior de la ventana.

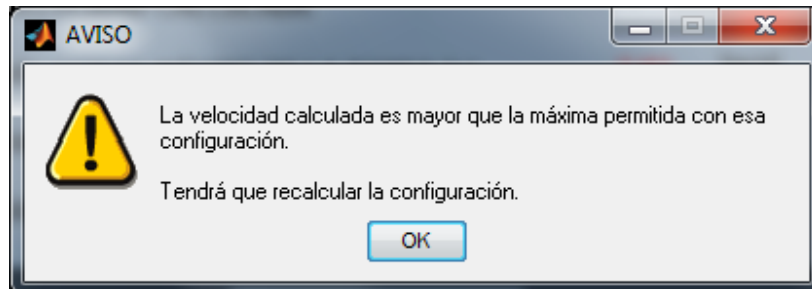


Figura 6.26: Mensaje de aviso por haber superado la velocidad máxima.



Figura 6.27: Menú ancho de banda y velocidad final (II).

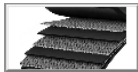
Antes de continuar, en la *Figura 6.28*, se puede ver el "Menú inicio" con una serie de valores aleatoriamente calculados, con el fin de mostrar al lector el cuadro "RESUMEN" comentado al comienzo de este punto.



Figura 6.28: Menú inicio con cuadro resumen en margen derecho.

6.2.6 Fuerzas y potencias

Para acceder a la siguiente ventana, "*Fuerzas y potencias*", se deberá pulsar el siguiente icono:



Al acceder, aparecerá la imagen de la Figura 6.29, ofreciendo al usuario las siguientes opciones:



Figura 6.29: Menú fuerzas y potencias (I).

1. En caso de que el usuario acceda a la barra de herramientas, podrá optar nuevamente por desplegar el menú "Archivo", pudiendo salir del programa, reiniciar las variables de la ventana gráfica, o bien volver a la ventana del menú inicial. Si se selecciona "Ayuda", se abrirá la ventana correspondiente con la explicación de este apartado *Figura 6.30*.

Si por el contrario se despliega el menú "Datos sobre potencia y fuerza" aparecerá un menú desplegable con las siguientes opciones:

- ✓ Características sobre eficiencia.
- ✓ Características del diámetro de los rodillos.
- ✓ Características sobre el espesor de los recubrimientos.

Pulsando sobre la primera de ellas, se abrirá la ventana de la *Figura 6.31*, para ayudar al usuario a completar el campo de eficiencia de la transmisión. Seleccionando la segunda opción, aparecerá la ventana de la *Figura 6.32*, mostrando una reseña con diferentes diámetro de los rodillos. La última de las opciones, abre una ventana que recoge los valores que deben tener los espesores de los recubrimientos dependiendo de otros parámetros como la abrasividad (*ver Figura 6.33*).

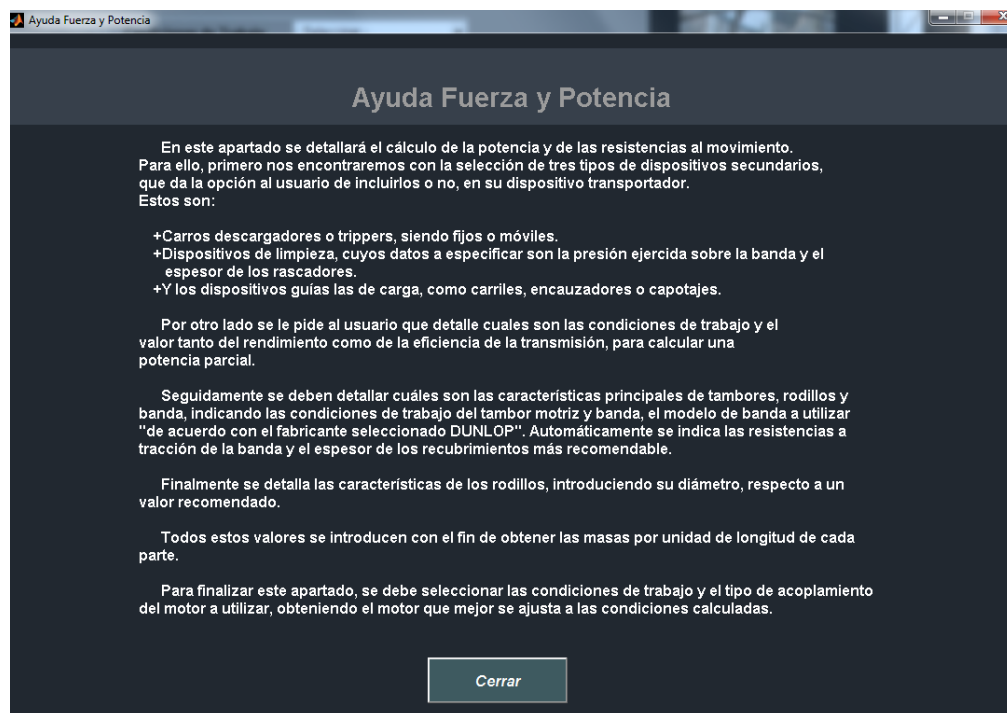


Figura 6.30: Ayuda de la ventana fuerza y potencia.

AYUDA EFICIENCIA MECÁNICA DE EQUIPOS REDUCTORES

Eficiencia Mecánica de equipos reductores de velocidad

Tipo de mecanismo reductor	Eficiencia
Poleas y bandas en V	94%
Cadena de rodillos	93%
Cadena de rodillos lubricados en aceite	95%
Reductor de engranajes helicoidales, una reducción	95%
Reductor de engranajes helicoidales, doble reducción	94%
Reductor de engranajes helicoidales, triple reducción	93%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1)	90%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1 a 60:1)	70%
Reductor de tronillo sin fin (relación 60:1 a 100:1)	50%
Reductor de engranajes rectos (mecanizados)	90%
Reductor de engranajes rectos (fundidos)	85%

Cerrar

Figura 6.31: Ayuda eficiencia de equipos reductores de velocidad.

Diámetro de los rodillos

Diámetro de los Rodillos

Diámetro de los rodillos								
Rodillos portantes	51	63,5	88,9	108	133	159	193,7	219
Rodillos de impacto				156	180	215	250	290

Cerrar

Figura 6.32: Ayuda diámetro de los rodillos.

ayudaespesor

Espesor del recubrimiento Superior de la Banda

ESPESOR DE RECUBRIMIENTO SUPERIOR RECOMENDADO (MM.)									
Tamaño en mm	Abrasión Alta/Muy Alta			Abrasión Media/Alta			Sin Abrasión		
	0-50	50-150	>150	0-50	50-150	>150	0-50	50-150	>150
Tiempo de Recorrido									
< 0,2 minutos	5-6	6-8	8-10	3-5	5-6	6-8	2-3	3-4	4-6
0,2-0,4 minutos	4-5	5-6	6-8	3-4,5	>=5	>=6	2-2,5	2,5-4	4-5
0,4-1 minutos	4-5	>=6	>=8	3-4	4-5	5-6	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4
1-5 minutos	3-5	5-6	7-8	3-5	4-5	5-6	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4
> 5 minutos	3-5	5-6	7-8	3-5	4-5	5-6	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4

Cerrar

Figura 6.33: Ayuda espesor de los recubrimientos.

Existe la posibilidad de acceder a estas ayudas mediante los botones que irán apareciendo según se desarrolla la ventana "*Fuerzas y potencias*".

2. Por otro parte, el usuario puede acceder al cuadro "*CONDICIONES DE TRABAJO Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN*". En él, se debe seleccionar los dispositivos secundarios de la banda a diseñar, pudiendo elegir entre:

- ✓ "*Carros descargadores o trippers*", seleccionándolos, aparecerán dos posibles tipos, "*fijos*" o "*móviles*".
- ✓ "*Dispositivos de limpieza*", siendo necesario especificar:
 - ✓ La "*presión*" que ejerce el dispositivo a la banda, pudiendo escoger entre una presión "*normal*" o "*elevada*",
 - ✓ El "*espesor de los rascadores*", limitado entre 15 mm y 30 mm.
- ✓ "*Dispositivos guías de carga*", donde se debe especificar la longitud de los mismo.

El siguiente paso que debe llevar a cabo el usuario, es seleccionar las condiciones de trabajo. El menú desplegable ofrecerá la posibilidad de seleccionar entre: "*Favorables*", "*normales*", "*desfavorables*" y "*con temperaturas extremas*". Para más información consultar capítulos 3 y 5.

Una vez elegidas las condiciones de trabajo, se deberá introducir en [%], el valor del "*rendimiento*" del motor y la "*eficiencia*" de la transmisión, pudiendo tener como referencia la ayuda que aparece en la imagen de la *Figura 6.31*, pulsando el botón de la interrogación.

Para finalizar este primer cuadro de datos, se debe pulsar el botón "*Calcular*" y apareciendo la "*potencia parcial*" de acuerdo con los parámetros establecidos hasta el momento. Además se revelará el siguiente de los cuadros de datos, con título "*CARACTERÍSTICAS GENERALES DE TAMBORES, BANDAS Y RODILLOS*". Dando al usuario la posibilidad de seleccionar una de las diferentes opciones de las condiciones de adherencia entre el tambor motriz y la banda. Pudiendo escoger entre:

- ✓ *Sin recubrimiento y mojado.*
- ✓ *Con recubrimiento de goma, mojado y sucio.*
- ✓ *Sin recubrimiento y seco.*
- ✓ *Con recubrimiento de goma y seco.*

Al optar por cualquiera de ellas, inmediatamente aparecerá el menú de selección del tipo de banda, entre las que se encuentran:

- ✓ *Dunloflex.*
- ✓ *Trioflex.*
- ✓ *Superford 3 / 4 / 5 / 6.*
- ✓ *Ferroflex.*
- ✓ *Silvercord*

Al elegir cualquiera de ellas (dependiendo de las condiciones definidas), se revelará la siguientes características de la banda:

- ✓ *La resistencia de rotura de la banda (a la cual está sometida y normalizada).*
- ✓ *Los espesores de cada recubrimiento.*
- ✓ *Cuadro resumen con la descripción de la banda, conforme a las normas internacionales (ver apartado 5.3.4).*

Por otro lado en la parte inferior, aparecerá el cuadro con título: "*LAS CARACTERÍSTICAS DEL DIÁMETRO DE LOS RODILLOS*" permitiendo definir el valor del "*diámetro de los rodillos*", y junto a él aparecerá como ayuda, el valor recomendado a introducir, para una vez más facilitar los cálculo al usuario y dándole la libertad de optar entre otras opciones.

Una vez introducido el diámetro se debe pulsar el botón "*Calcular*" situado bajo los espesores de los recibimientos, para poder obtener los valores de velocidad de giro de los rodillos y acceder al siguiente de los menús de datos.

Al pulsar el botón "*Calcular*", inmediatamente aparecerá:

- ✓ *Las masas de la banda por unidad de longitud.*
- ✓ *La masa de los rodillos por unidad de longitud.*
- ✓ *La masa de la carga por unidad de longitud.*

Igualmente, se desplegará el cuadro "*CÁLCULO DE LAS RESISTENCIAS AL MOVIMIENTO*", donde ahora, se debe escoger una de las diferentes características de fricción, dependiendo de la situación, se tendrá:

- ✓ *Fricción favorable, materiales ligeros y buena rotación de los rodillos.*
- ✓ *Fricción normal.*
- ✓ *Fricción desfavorable, materiales pesados y temperaturas bajas.*

Inmediatamente al seleccionar una de ellas, aparecerá todas y cada una de las resistencias al movimiento de la banda transportadora. Una vez más aparecerá el último de los cuadros de datos de esta ventana, con título "*CÁLCULO DE POTENCIA FINAL*". En él, se deberá seleccionar uno de los tipo de acoplamiento a utilizar.

- ✓ *Acoplamiento Rígido.*
- ✓ *Acoplamiento Flexible.*
- ✓ *Acoplamiento Hidráulico.*

Cuando se opte por una de estas opciones, aparecerá la potencia necesaria del motor, para llevar a cabo nuestro diseño. (Esta potencia es la final, a no ser que se seleccionen dos tambores motrices en la siguiente ventana).

Para finalizar, se debe pulsar el botón "*Cerrar*" redirigiéndonos de nuevo al menú inicial. En la *Figura 6.34* puede verse la ventana "*Fuerzas y potencias*" completa.

POTENCIA Y FUERZAS TANGENCIALES

CONDICIONES DE TRABAJO Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN

Selección de dispositivos secundarios:

- ☒ Carros descargadores o Trippers.
 - ☐ Fijos ☐ Móviles
- ☒ Dispositivos de Limpieza.
 - Presión entre dispositivo y banda: ☐ Normal ☐ Elevada
 - Espesor de los rascadores: [mm]
 - Nota: Espesores comprendidos entre 15 y 30 mm
- ☒ Dispositivos guías de carga.
 - Longitud de las guías/camles: [m]

Condiciones de Trabajo: Normal, condiciones esta...

Características del motor:

Rendimiento: %
Eficiencia de la transmisión: %
Potencia (Parcial): 123.75 [kW]

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE TAMBORES, BANDAS Y DE RODILLOS

Características del Tambor Motriz y Banda:

Tipo de Banda: Superfort / 4

Modelo de Banda: Superfort / 4

Resistencia a rotura de la Banda: 1061.46 N/mm Normalizada: 1250 N/mm

Resumen de la Banda Seleccionada:

Superfort 1000		Superfort 1250	
2+3	1+5	2+3	1+5
4	2	4	2
6	1.5+3	6	1.5+3
8+10	2+3	8+10	2+3

Esposes de los Recubrimientos de la banda:

Superior: [mm] Inferior: [mm]

Diámetro de los rodillos: [mm] Valor recomendado de Diámetro: 133 [mm]

Rodillos de Transporte: [mm]

Velocidad de los rodillos: 350.5474 [rpm] Máxima velocidad: 650 r.p.m.

Masa por unidad de longitud:

Masa de la Banda: MG' 16.35 [kg/m] Masa de los Rodillos: MR' 20.466 [kg/m] Masa de la Carga: ML' 124.59 [kg/m]

CÁLCULO DE LAS RESISTENCIAS AL MOVIMIENTO

Condiciones de fricción:

- ☐ Favorables, material ligero y buena rotación de rodillos
- ☐ Condiciones Normales
- ☐ Desfavorables, materiales pesados y bajas temperaturas

Resistencia	Valor	Unidad
Resistencias Principales	FH 5161.31	N
Resistencias Secundarias	FN 3070.98	N
Resistencias por inclinación	Fst 31638	N
Resistencias Especiales	Fs 4282.27	N
Resistencias Total	Fu 44322.5	N

CÁLCULO DE POTENCIA

Acoplamiento del Motor:

- ☐ Acoplamiento Rígido.
- ☐ Acoplamiento Flexible.
- ☐ Acoplamiento Hidráulico.

Potencia Teórica Total: 171.28 kW
Rendimiento: 85 %
Potencia Requerida: 200 kW

Figura 6.34: Menú fuerzas y potencias completo (II).

Los errores emergentes que pueden aparecer en esta ventana se detallan a continuación:

En caso de introducir en el espesor de los rascadores un valor no comprendido entre los solicitados, aparecerá el mensaje de error de la Figura 6.35.

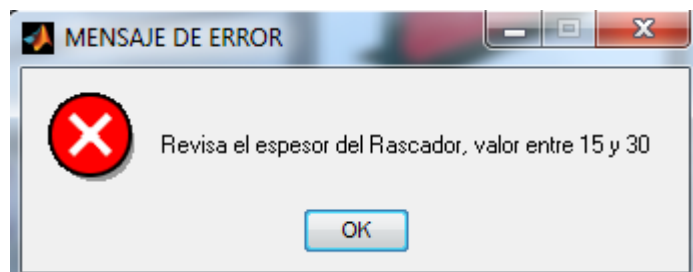


Figura 6.35: Mensaje de error por introducir el espesor de los rascadores superior al permitido.

Si se introduce una longitud de guía mayor que el valor máximo de longitud de la banda, aparecerá el mensaje de error de la Figura 6.36 y automáticamente corregirá este valor por el máximo permitido.

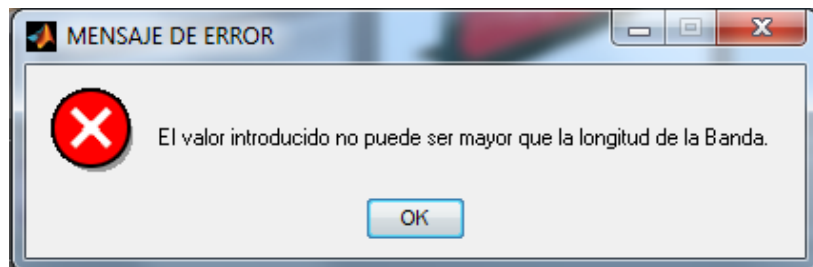


Figura 6.36: Mensaje de error por introducir una longitud de las guías superiores a la banda.

Un mensaje de error importante, aparecerá al seleccionar uno de los tipos de bandas que no cumple con los mínimos requisitos de tensión que debe soportar, apareciendo un mensaje como el mostrado en la *Figura 6.37*.

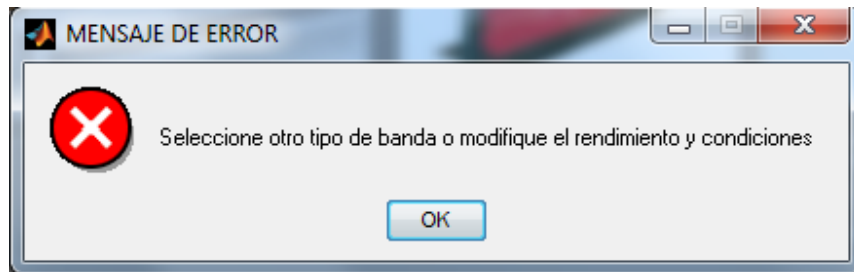


Figura 6.37: Mensaje de error por introducir rendimiento incorrecto.

Otro de los mensajes de error emergentes, pueden aparecer a la hora de modificar los espesores de los recubrimientos, de forma que si el usuario desea modificarlos debe tener presente, que debe introducir los valores mostrados en la tabla correspondiente, cuyos valores son normalizados. En caso de introducir otros valores, mostrará el mensaje de error de la *Figura 6.38*.

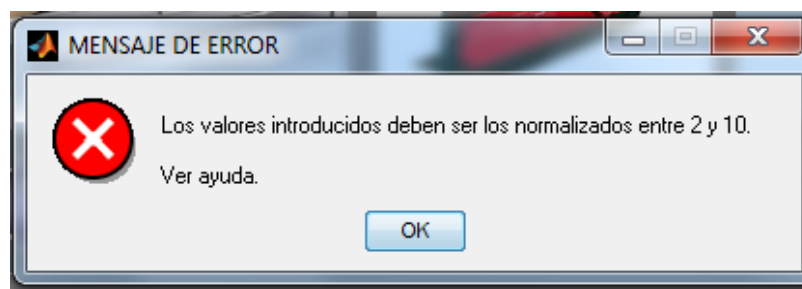
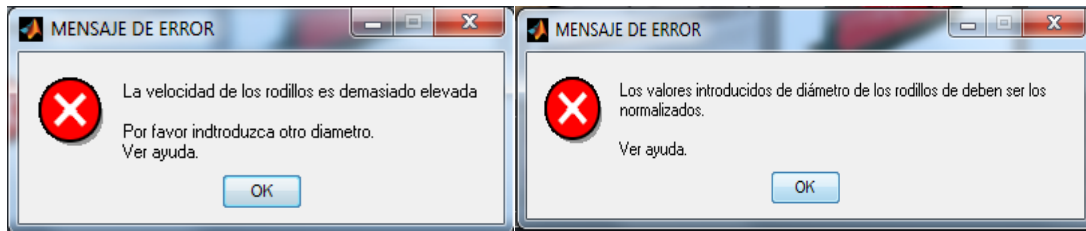


Figura 6.38: Mensaje de error de los espesores de recubrimientos incorrectos.

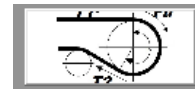
El último de los mensajes de error emergentes aparecerá si se introduce un diámetro de rodillos diferentes a los normalizados (*Figura derecha*), o si en caso de introducir un diámetro normalizado, y éste no corresponderse con un valor cercano al recomendado (alcanzando así una velocidad de giro de los rodillos mayor que la permitida *Figura izquierda*). Los dos posibles mensajes se pueden ver en la *Figura 6.39*.

**Figura 6.39:** Mensaje de error de diámetro de los rodillos.

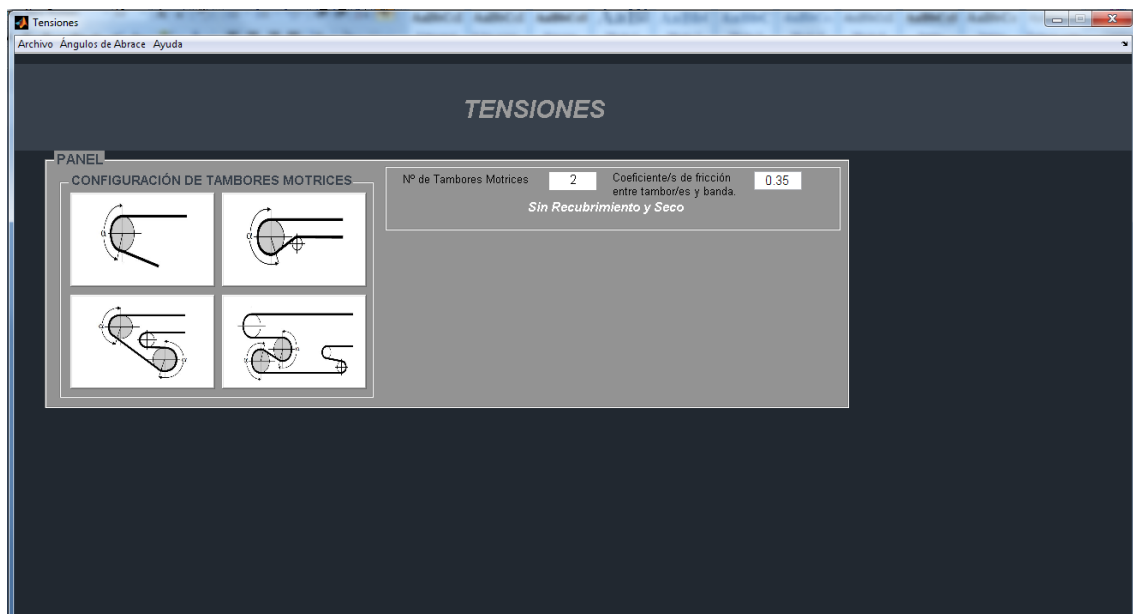
Para finalizar este apartado, es necesario indicar que si se introducen valores de forma aleatoria sin sentido, o de tipo texto, rendimientos mayores que 100, etc automáticamente aparecerán otros mensajes de error emergentes indicando al usuario que debe corregir dichos valores. Estos mensajes de error son similares a los de la *Figura 6.20* vista con anterioridad.

6.2.7 Tensiones

El acceso al siguiente menú se realiza pulsando sobre el icono:



En él, lo primero en aparecer es, por un lado, la barra de herramientas. Por otro lado 4 botones con los 4 modelos de configuración diferentes de los tambores motrices, diferenciándose entre bandas con un único tambor motriz y bandas con dos tambores motrices. La ventana inicial (*Figura 6.40*), debe ir revelándose (como en el caso de la última ventana explicada), conforme se vayan introduciendo los valores solicitados. En la *Figura 6.42* puede verse la ventana completa.

**Figura 6.40:** Menú tensiones inicial (I).

Como en los casos anteriores, la barra de herramientas superior ofrece las mismas opciones, el menú desplegable "Archivos" permite salir del programa, reiniciar las variables de la ventana gráfica en la cual se encuentra el usuario, o bien volver a la

ventana del menú de inicio. Si se selecciona "Ayuda", se abrirá la ventana correspondiente con la explicación de este apartado. Si por el contrario, se despliega el menú "Ángulos de abrace", aparecerá una nueva ventana con los ángulos correspondiente a la configuración de cada tambor, la misma ventana se puede abrir desde el botón de ayuda (interrogación) que aparece junto al cuadro de datos de los ángulos de abrace. En la *Figura 6.41*, se puede ver la ventana de los ángulos de abrace.

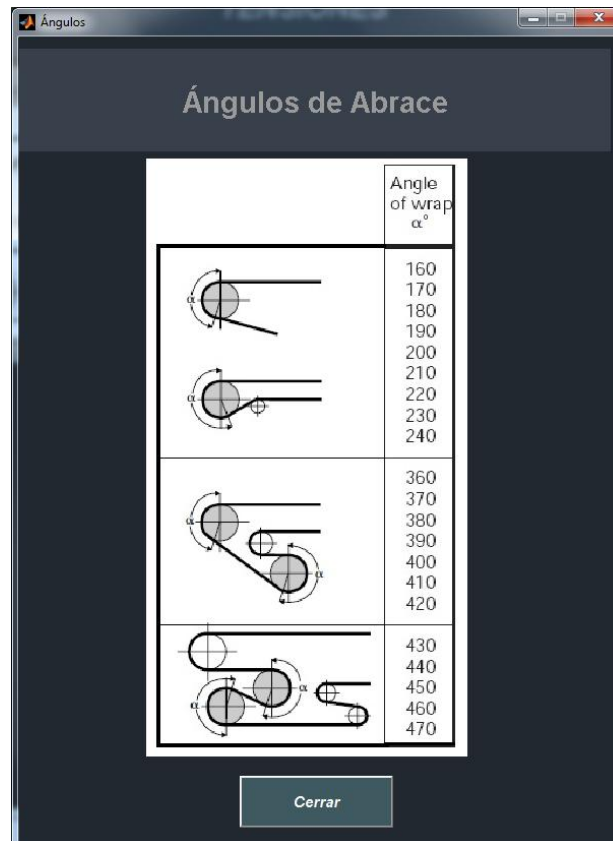


Figura 6.41: Ventana de ayuda de los ángulos de abrace entre tambor y banda.

En esta caso, al pulsar sobre una de las configuración de los tambores, aparecerá adyacente a dicho cuadro el número de tambores seleccionados, el coeficiente de fricción (procedente de la ventana anterior con su explicaciones debajo del mismo, dando la posibilidad de modificar dicho valor) y un nuevo cuadro de valores. En el nuevo cuadro, aparecerá la opción de definir los ángulos de abrace entre tambor y banda, junto con sus valores límites en color rojo, dependiendo de la configuración seleccionada.

Al introducir estos ángulos, inmediatamente aparecerá un cuadro que permitirá seleccionar una de las diferentes localizaciones de los tambores, pudiendo escoger entre:

- ✓ *Zona de cabeza o descarga.*
- ✓ *Zona de cola o carga.*
- ✓ *Zona de cola y carga, solamente en caso de introducir el ángulo de arrollamiento con el mismo valor, y disponer de una configuración doble, si no se introduce estas condiciones, esta opción no aparecerá en el cuadro.*

Al seleccionar una de las anteriores, aparecerá la potencia aportada por el motor, en caso de ser un único tambor, corresponderá con el calculado anteriormente (si no se modifica la fricción), en caso de ser dos tambores, las potencias serán repartidas según la teoría del capítulo 5 del presente documento. Para obtener estos valores, se deberá pulsar el botón que aparece junto a los cuadros descritos.

A continuación, en el margen derecho de la ventana, se mostrará el cuadro con título "*DISPOSITIVOS TENSORES*", permitiendo seleccionar entre los dos tipos de dispositivos tensores y su localización.

- ✓ *Automático*
 - *Lado del tambor motriz.*
 - *Lado del tambor de retorno.*
- ✓ *Fijo*
 - *Lado del tambor motriz.*
 - *Lado del tambor de retorno.*

Una vez se ha definido el tensor, aparecerá una imagen que describirá este dispositivo conforme a su selección, y un botón que calculará todas las tensiones, recogidas de forma detallada en diferentes cuadros. Al pulsar el botón de "*Cálculo de tensiones*", aparecerá una imagen en la parte inferior derecha a modo resumen de la disposición de la banda y de los tambores seleccionados.

En los cuadros de tensiones, en la parte superior, se detallará:

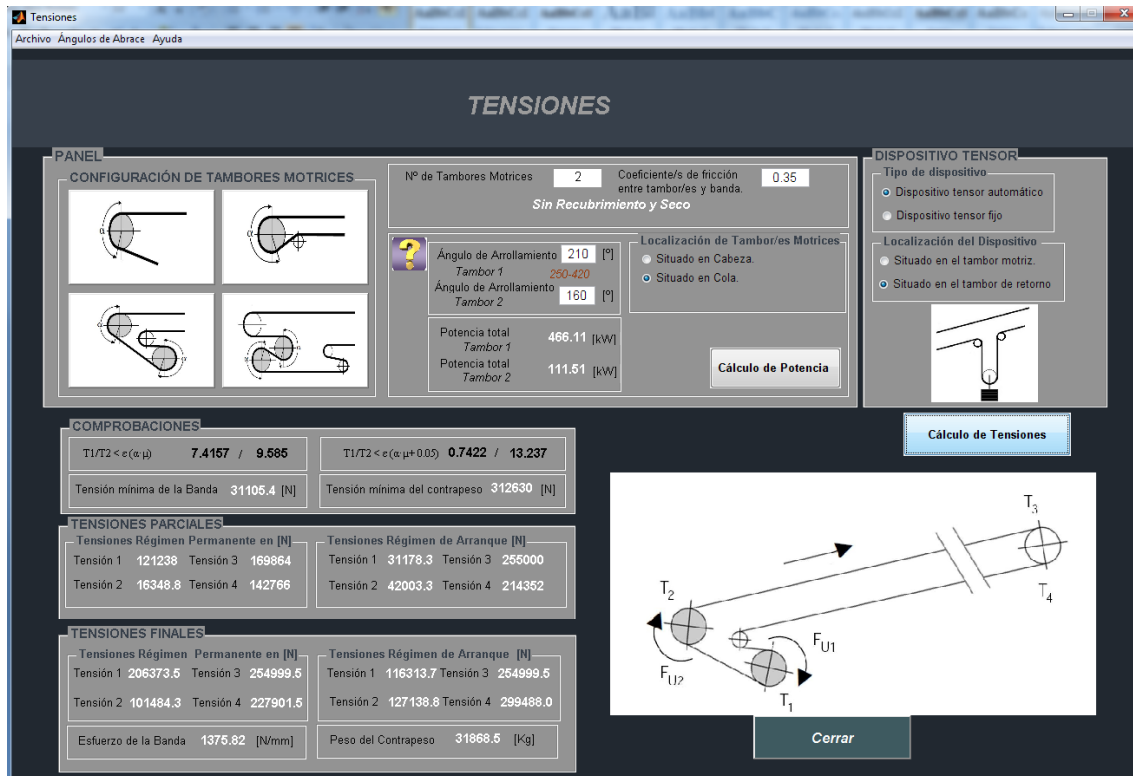
- ✓ *Las comprobaciones necesarias de la fórmula de Euler-Eytelwein*, tanto para régimen permanente como para el arranque.
- ✓ *La tensión mínima de la banda, y la tensión mínima que aporta el contrapeso*, esta última solo aparecerá en caso de escoger un dispositivo tensor automático.

En un cuadro central aparecerán:

- ✓ *Las tensiones parciales* antes de ser ajustadas, dependiendo de las condiciones de trabajo especificadas en los pasos anteriores.

En el cuadro inferior se encontrarán:

- ✓ *Las tensiones definitivas.*
- ✓ *Peso necesario del contrapeso.*
- ✓ *Esfuerzo que sufrirá la banda*, de acuerdo con la tensión máxima calculada.



TENSIONES

Archivo Ángulos de Abrace Ayuda

PANEL

CONFIGURACIÓN DE TAMBORES MOTRICES

Nº de Tambores Motrices: 2 Coeficiente/s de fricción entre tambor/es y banda: 0.35
Sin Recubrimiento y Seco

Localización de Tambor/es Motrices:
☐ Situado en Cabeza.
☒ Situado en Cola.

Ángulo de Arrollamiento: 210 [°]
 Tambor 1: 250-420
 Ángulo de Arrollamiento: 160 [°]
 Tambor 2

Potencia total: 466.11 [kW]
 Tambor 1
 Potencia total: 111.51 [kW]
 Tambor 2

DISPOSITIVO TENSOR

Tipo de dispositivo:
☒ Dispositivo tensor automático
☐ Dispositivo tensor fijo

Localización del Dispositivo:
☐ Situado en el tambor motriz.
☒ Situado en el tambor de retorno

COMPROBACIONES

$T_1/T_2 < c(\alpha, \mu)$: 7.4157 / 9.585
 $T_1/T_2 < c(\alpha, \mu + 0.05)$: 0.7422 / 13.237

Tensión mínima de la Banda: 31105.4 [N]
 Tensión mínima del contrapeso: 312630 [N]

TENSIONES PARCIALES

Tensiones Régimen Permanente en [N]:
 Tensión 1: 121238 Tensión 3: 169864
 Tensión 2: 16348.8 Tensión 4: 142766

Tensiones Régimen de Arranque en [N]:
 Tensión 1: 31178.3 Tensión 3: 256000
 Tensión 2: 42003.3 Tensión 4: 214352

TENSIONES FINALES

Tensiones Régimen Permanente en [N]:
 Tensión 1: 206373.5 Tensión 3: 254999.5
 Tensión 2: 101484.3 Tensión 4: 227901.5

Tensiones Régimen de Arranque en [N]:
 Tensión 1: 116313.7 Tensión 3: 254999.5
 Tensión 2: 127138.8 Tensión 4: 299488.0

Esfuerzo de la Banda: 1375.82 [N/mm]
 Peso del Contrapeso: 31868.5 [Kg]

Cálculo de Tensiones

Cerrar

Figura 6.42: Menú tensiones completo (II).

En cuanto a los mensajes de error que pueden aparecer en esta ventana se detallan a continuación:

En primer lugar, si los ángulos introducidos son mayores que los permitidos por la configuración seleccionada, aparecerá un mensaje de error como el mostrado en la Figura 6.43 (uno por cada tipo).

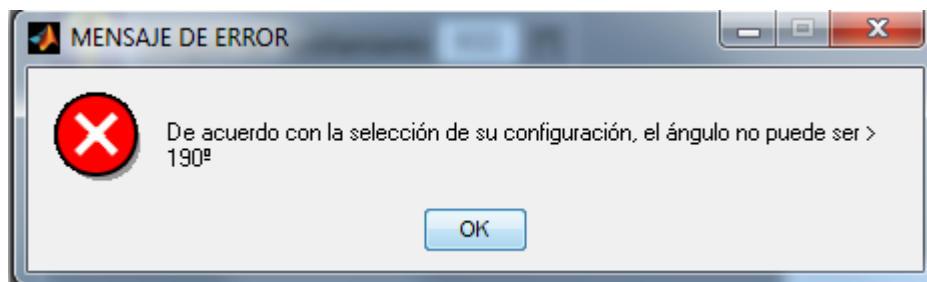


Figura 6.43: Mensaje de error por introducir ángulo de abrace de forma incorrecta.

Por otro lado, si al calcular las tensiones, existe alguna que resulta insuficiente, algo que suele ocurrir cuando la disposición es de dos tambores y la potencia de la banda es muy pequeña, aparecerá el error mostrado en la Figura 6.44.

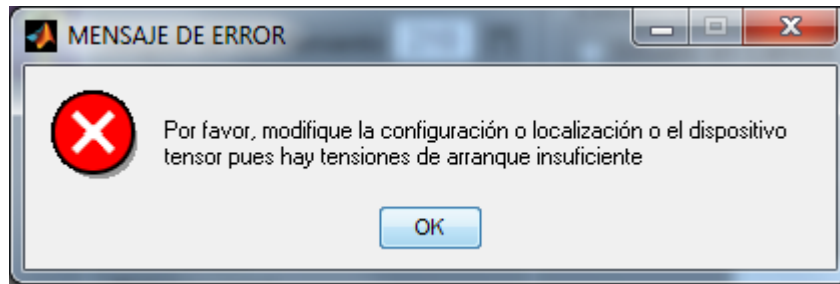


Figura 6.44: Mensaje de error por tensiones insuficientes.

Otro de los errores aparecerá si al calcular las tensiones no se cumple alguna de las condiciones de *Euler-Eytelwein*. como aparece en la *Figura 6.45*. Junto al error, se se revelará un botón en la parte inferior derecha con la etiqueta de "*Recalcular*", con el fin de facilita al usuario el reinicio de las variables de esta ventana.

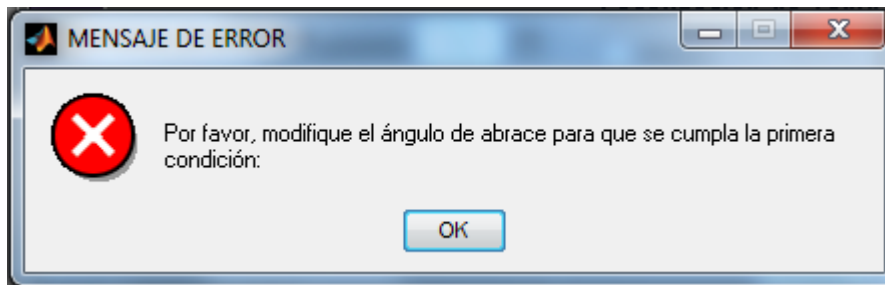


Figura 6.45: Mensaje de error por incumplir la condición de Euler-Eytelwein.

Finalmente, en caso de obtenerse unos valores de tensión correctos pero la banda no ser capaz de soportar el esfuerzo a tracción, aparecerá el mensaje de error de la *Figura 6.46*, junto con un botón que nos conduce automáticamente a la ventana de cálculo de "*Fuerza y potencia*", para así poder establecer otro tipo de banda que cumpla con las condiciones deseadas.

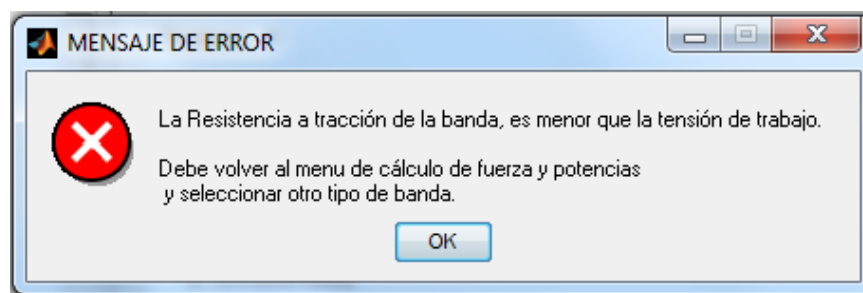



Figura 6.46: Mensaje de error debido a que la banda no soporta el esfuerzo a tracción.

6.2.8 Características del motor

Llegados a éste punto, se puede decir que el diseño de la banda transportadora a nivel mecánico está prácticamente calculado, las siguientes ventanas gráficas detallan al usuario a nivel informativo las características constructivas de cada uno de los elementos que componen la banda. En el primero de los casos, se comienza por determinar las

características constructivas del o los motores, dependiendo de la configuración seleccionada en el apartado anterior.

Para acceder a la ventana correspondiente, se debe pulsar el icono: . El cual, nos conducirá directamente a la ventana de "Configuración del motor" mostrado en la Figura 6.47.

Al igual que el resto de las ventanas del programa, esta dispondrá de una barra de herramientas con las mismas opciones explicadas en los casos anteriores, siendo los menús desplegables los referentes a "Archivo" y "Ayuda".

Como se puede ver en la imagen, únicamente el usuario deberá seleccionar la potencia del motor (o los motores), dependiendo de los valores obtenidos acordes con las condiciones impuestas anteriormente. Estos datos aparecen en el margen superior izquierdo de la ventana.

Una vez se ha seleccionado la potencia, aparecerá de manera automática todas las características constructivas del motor, como el peso, el nivel sonoro y las cotas del mismo. La imagen de la Figura 6.48 muestra un ejemplo de lo explicado

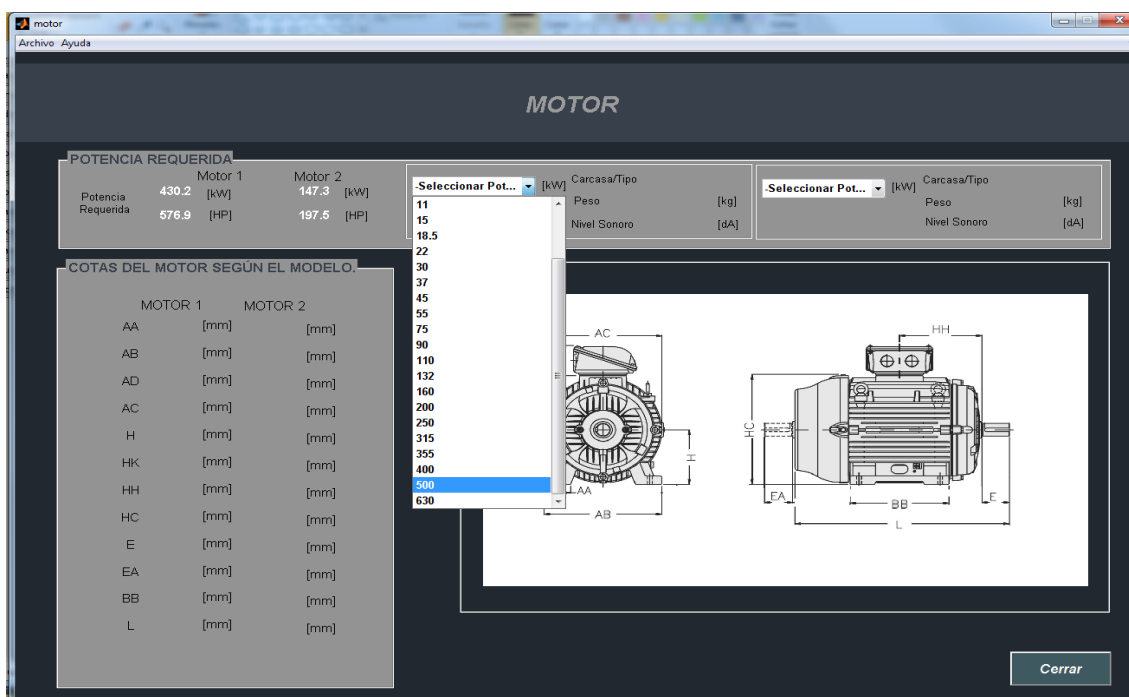


Figura 6.47: Menú motor (I).

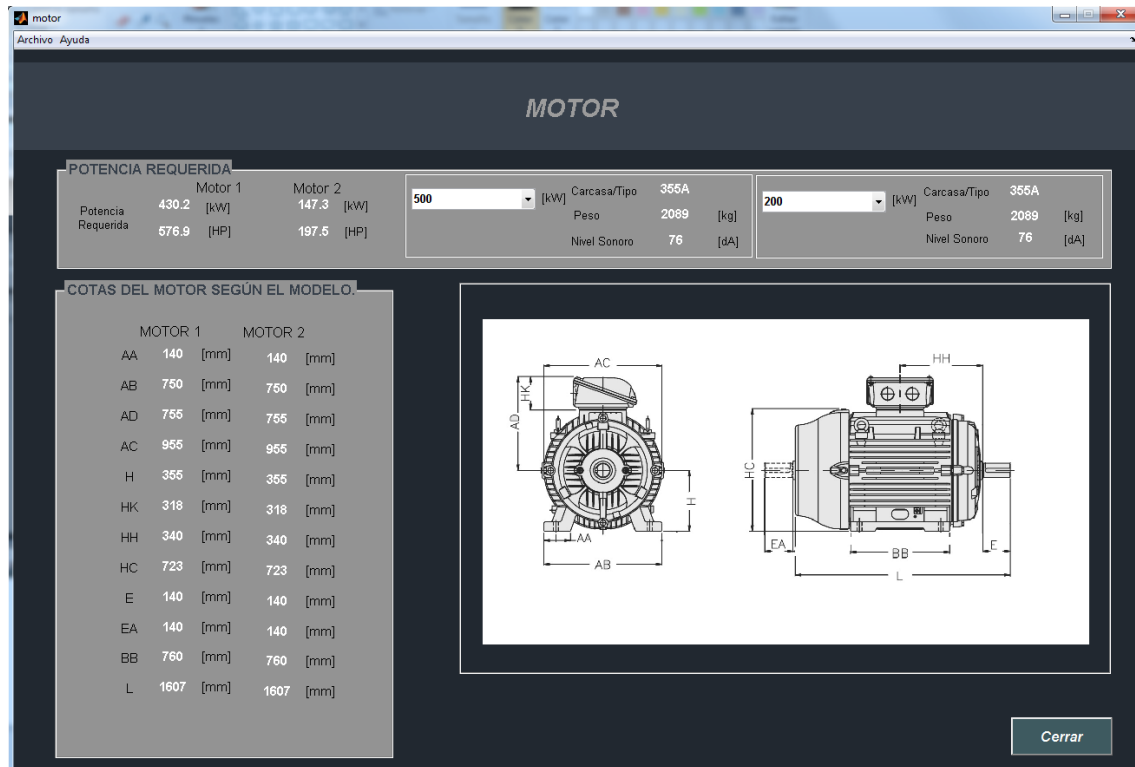


Figura 6.48: Menú motor (II).

6.2.9 Características de los rodillos

La siguiente de las ventanas a configurar, será la que corresponde a la determinación de las características de los rodillos, cuyo icono de acceso es el siguiente:



Al acceder a este menú, aparecerá la ventana gráfica mostrada en la Figura 6.49. En ella, una vez más, se tendrá acceso a la barra de herramientas con los menús desplegables "Archivo" y "Ayuda" explicados con anterioridad.

Por otro lado, la ventana gráfica, nos permite configurar los rodillos y comprobar sus características constructivas. Para ello, el usuario seleccionará el diámetro de los rodillos superiores e inferiores, de acuerdo al valor calculado con anterioridad, pudiéndolo recordarlo al hallarse junto al mismo.

Otra de las condiciones a definir, es el tipo de rodillo, tanto para las estaciones superiores como inferiores, diferenciándose los siguientes tipos:

Para rodillos superiores:

- ✓ De acero.
- ✓ Anticorrosivo.
- ✓ Termoplásticos.

Para rodillos inferiores:

- ✓ Con manga de goma
- ✓ Autolimpiadores.
- ✓ Con anillas.

Dependiendo de la selección del tipo de rodillos aparecerá una imagen en el margen derecho de cada uno de los cuadros de datos. Particularmente, en el caso de seleccionar en la estación inferiores el tipo de "rodillos con anillas", automáticamente el diámetro del rodillos será corregido a un valor normalizado y aparecerá el valor del diámetro de las anillas, como se muestra en la *Figura 6.50*. Además, el usuario debe determinar el nivel de horas de servicio por día que se va a utilizar en la instalación transportadora.

Otro dato que, aunque aparece automáticamente, el usuario puede modificar es el desalineamiento de los rodillos. Si se modifica este valor, afectaría al resultado de las resistencias que se oponen al movimiento de la banda y por consiguiente a la potencia y las tensiones, aunque no es recomendable modificarlo puede hacerse, pero siempre debe introducirse un valor (en grados) inferior, de esta forma se asegura que las condiciones calculadas son suficientes para llevar a cabo su correcto funcionamiento.

Finalmente, se debe pulsar el botón de "Calcular cargas", para poder mostrar los parámetros que se detallan dentro de cada uno de los cuadros y que se desconocen.

En este caso, los valores que se obtienen, tanto para la estación superior como la inferior son:

- ✓ Velocidad de los rodillos.
- ✓ Disposición de los rodillos.
- ✓ Ángulo de artesa.
- ✓ Desalineamiento.
- ✓ Carga en los rodillos.
- ✓ Carga en la unidad desfavorable.
- ✓ Número de estaciones necesarias.
- ✓ Diámetro de las anillas de los rodillos.

Características de los Rodillos

Archivo Ayuda

RODILLOS

RODILLOS SUPERIORES

Valor calculado

Dímetro: **133** Tipo: Nº de horas de servicio/día: [h]

Velocidad: [r.p.m.] Disposición: **En Artesa** Ángulo: **35** [°]

Desalineamiento: [°] Carga en rodillos: [N] Carga/unidad desfavorable: [N]

Número de estaciones de rodillos sup.

RODILLOS INFERIORES

Dímetro: Tipo:

Velocidad: [r.p.m.] Disposición: **Plano** Ángulo: **0** [°]

Desalineamiento: [°] Carga en rodillos: [N] Carga/unidad desfavorable: [N]

Número de estaciones de rodillos inf.

Figura 6.49: Menú rodillos (I).

Características de los Rodillos

Archivo Ayuda

RODILLOS

RODILLOS SUPERIORES

Valor calculado

Dímetro: **133** Tipo: Nº de horas de servicio/día: [h]

Velocidad: **303.102** [r.p.m.] Disposición: **En Artesa** Ángulo: **35** [°]

Desalineamiento: [°] Carga en rodillos: **8934.4** [N] Carga/unidad desfavorable: **5986.05** [N]

Número de estaciones de rodillos sup. **217**

RODILLOS INFERIORES

Dímetro: **88.9** Tipo: Diámetro del anillo: **156** [mm]

Velocidad: **542.107** [r.p.m.] Disposición: **Plano** Ángulo: **0** [°]

Desalineamiento: [°] Carga en rodillos: **122.162** [N] Carga/unidad desfavorable: **81.8486** [N]

Número de estaciones de rodillos inf. **87**

Figura 6.50: Menú rodillos (II).

6.2.10 Características de los tambores

Los siguientes valores a determinar de la banda son las características de los tambores, para ello, es necesario acceder a la ventana pulsando el siguiente icono:



Al acceder a la ventana solicitada, aparecerá la imagen de la *Figura 6.51*, en la que se puede ver, como ya es bien sabido por el lector, la barra de herramientas, ofreciendo la posibilidad de acceder al menú "Archivo" y al menú "Ayuda", explicados para los casos anteriores. En su parte inferior, se encuentra la propia ventana gráfica para determinar los valores de las características de los tambores.

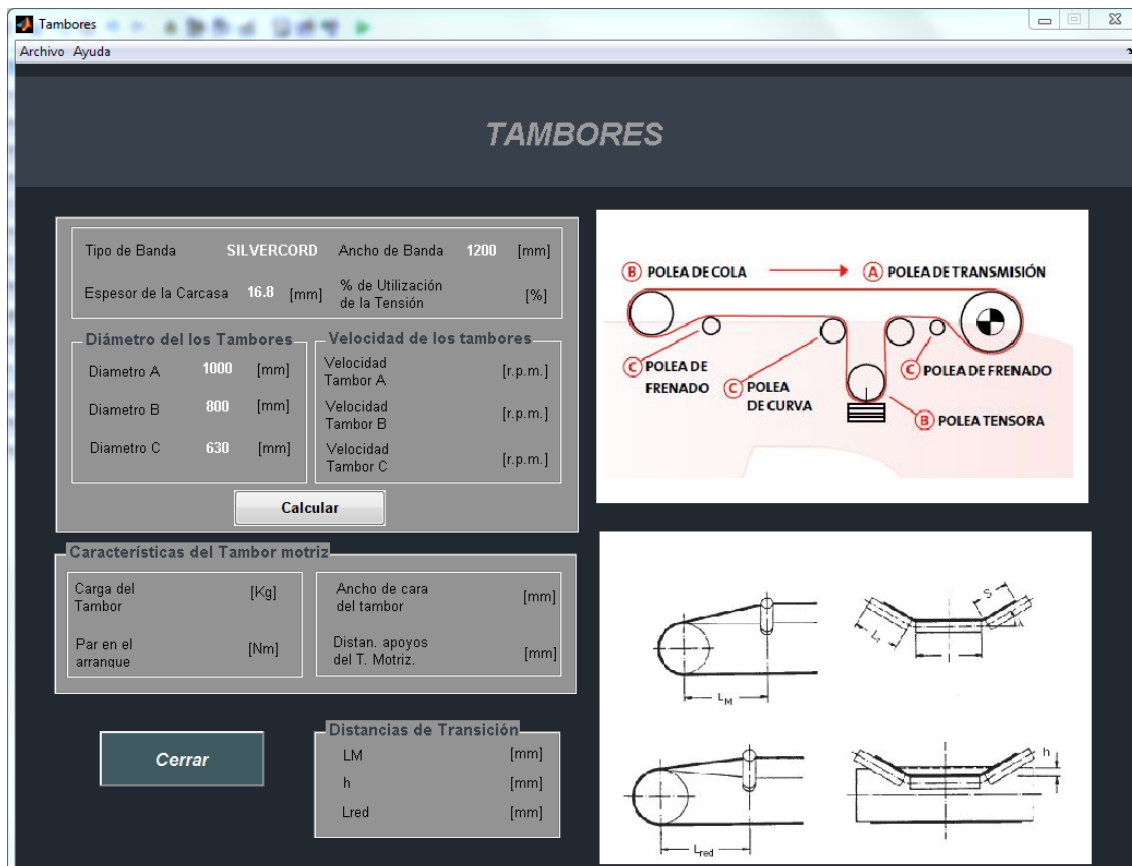


Figura 6.51: Menú tambores (I).

Como se puede ver en la imagen, automáticamente aparecen una serie de valores cuyas características influyen directamente sobre los tambores. En este caso, el usuario podrá ver los siguientes parámetros:

- ✓ *El tipo de banda.*
- ✓ *Ancho de banda.*
- ✓ *Espesor de la carcasa.*
- ✓ *Diámetro de los tambores, especificados en la imagen del margen derecho.*

Para poder calcular el resto, el usuario únicamente deberá pulsar el botón "Calcular", sin tener que modificar nada más, mostrándose así, las características que corresponden al conjunto de todos los tambores; bajo éste, las propias características del tambor motriz y finalmente, en caso de que exista configuración en artesa, las longitudes de transición. Todas ellas pueden verse a modo de ejemplo en la *Figura 6.52*.

- ✓ % de utilización de la tensión (para reducir el valor del diámetro de los tambores).
- ✓ Velocidad de giro de cada uno de los tambores.
- ✓ Par torsor que sufre el tambor en el arranque.
- ✓ Carga que sufre el tambor motriz.
- ✓ Distancia entre apoyos del tambor motriz.
- ✓ Ancho de cara del tambor motriz.
- ✓ Distancias de transición, de acuerdo con la imagen de la esquina inferior derecha.

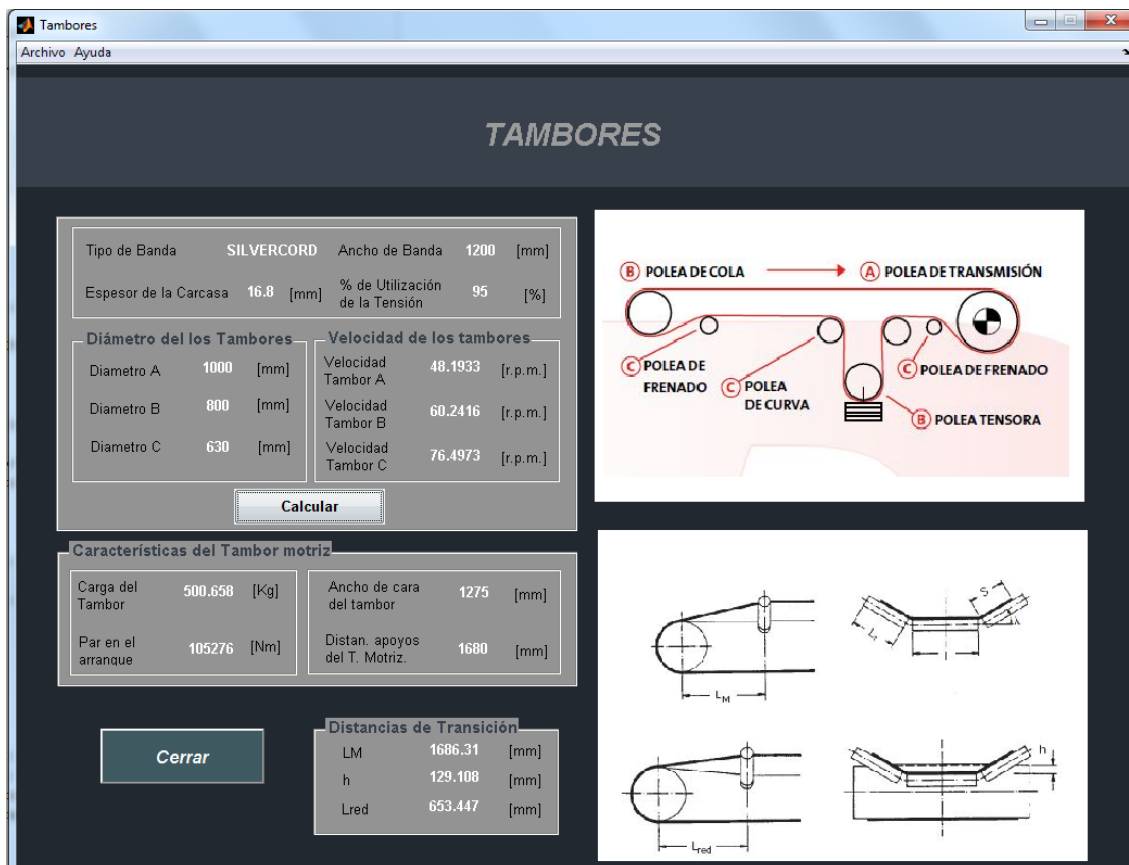
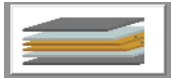


Figura 6.52: Menú tambores (II).

6.2.11 Características de la banda

Para finalizar, se debe determinar las características finales de diseño de la banda, y poder dejar establecido así las características de toda nuestra instalación.

Para acceder a la última de las ventanas, el usuario debe pulsar el icono:



En ese momento, automáticamente el programa nos dirigirá a la ventana que aparece en la imagen de la *Figura 6.53*. Esta se divide en una barra de herramientas, cuyas características han sido explicadas anteriormente, pudiendo acceder a los menús "Archivo" y "Ayuda", con la particularidad de poder abrir un nuevo menú titulado "Datos sobre bandas", este no es más que un acceso para poder consultar los espesores de los recubrimientos de las bandas, expuestos con anterioridad en la *Figura 6.32*.

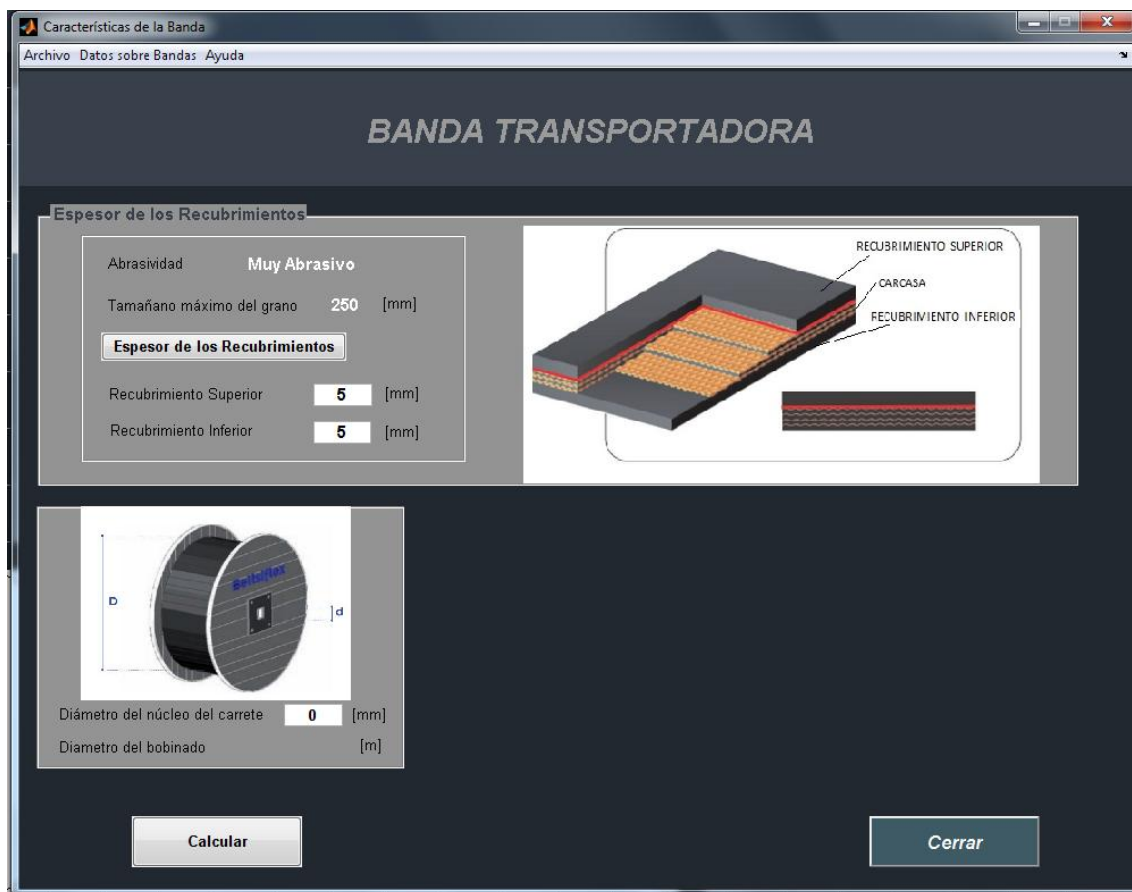


Figura 6.53: Menú configuración de bandas (I).

Inicialmente, como se observa en la imagen de la *Figura 6.53*, se muestra al usuario las características de abrasividad y el tamaño de grano máximo seleccionadas en la primera de las ventanas de configuración del tipo de material (características que afectan directamente al material del que está compuesto la banda).

Además aparecen los valores de los recubrimientos ya definidos, de acuerdo con la ventana "*Fuerzas y potencias*". Se la da la opción a modificar dichos valores, y desaconsejándolo completamente, pues los espesores de los recubrimientos afectan a la masa de la banda y a la resistencia de la misma, y por consiguiente a la potencia y a las tensiones. Aunque si se modifican no afectará en gran medida, siempre y cuando se haga para valores similares, ya que los recubrimientos únicamente se definen en función del tipo de material a transportar (grado de abrasividad, tamaño del material, etc...).

Por otra parte, aparece una imagen para definir el diámetro del rollo de la banda, donde se le pide al usuario introducir el diámetro del núcleo del carrete, con el fin de calcular el diámetro total del bobinado y dar una orientación sobre los costes de transporte de dicho carrete. Únicamente el usuario accederá a introducir un diámetro y pulsará el botón "*Calcular*", con ello, aparecerán otras características constructivas, junto a una imagen que define el tipo de banda seleccionada. Todo ellos se puede ver en la imagen de la *Figura 6.54*.

Los datos que se obtienen al pulsar el botón "*Calcular*" son los siguientes:

- ✓ *Diámetro del bobinado.*
- ✓ *Tipo de banda.*
- ✓ *Esfuerzo de la banda.*
- ✓ *Espesor de la carcasa.*
- ✓ *Espesor de la banda.*
- ✓ *Carga mínima de rotura.*

Finalmente, se debe pulsar el botón de "*Cerrar*", para volver al "*Menú Inicial*".

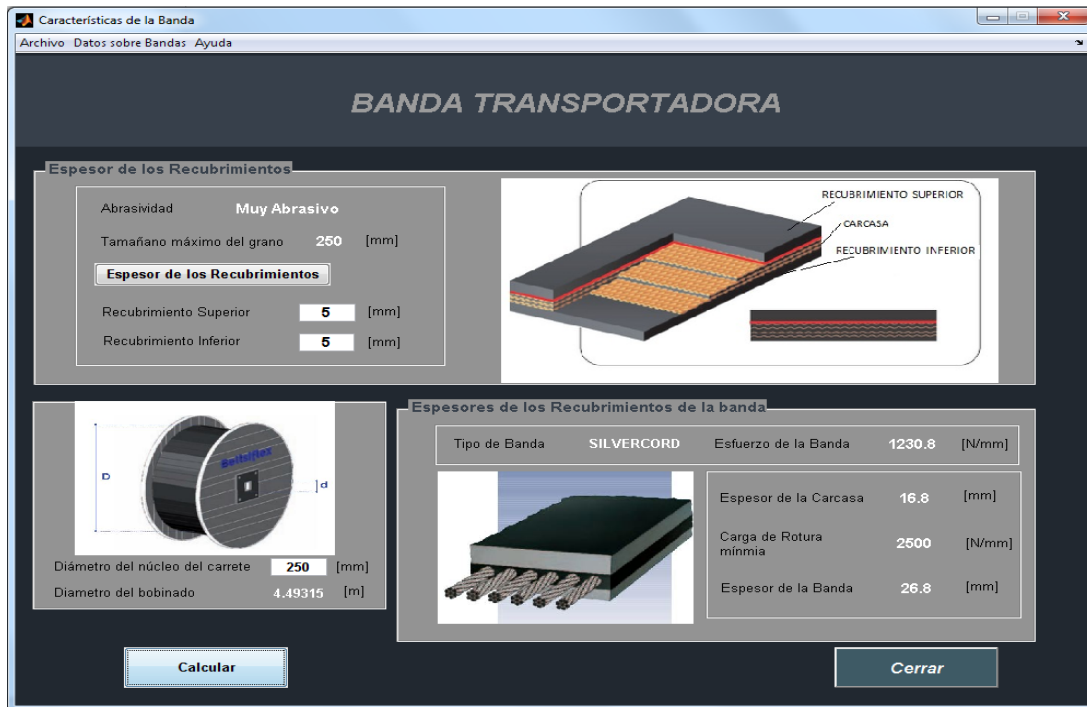


Figura 6.54: Menú configuración de bandas (II).

6.2.12 Menú final

Para terminar, una vez el usuario se encuentra en el "Menú inicial", podrá observar en el cuadro "RESUMEN" que aparece en el margen derecho de la ventana, las características más importantes que definen la banda transportadora (Figura 6.55).

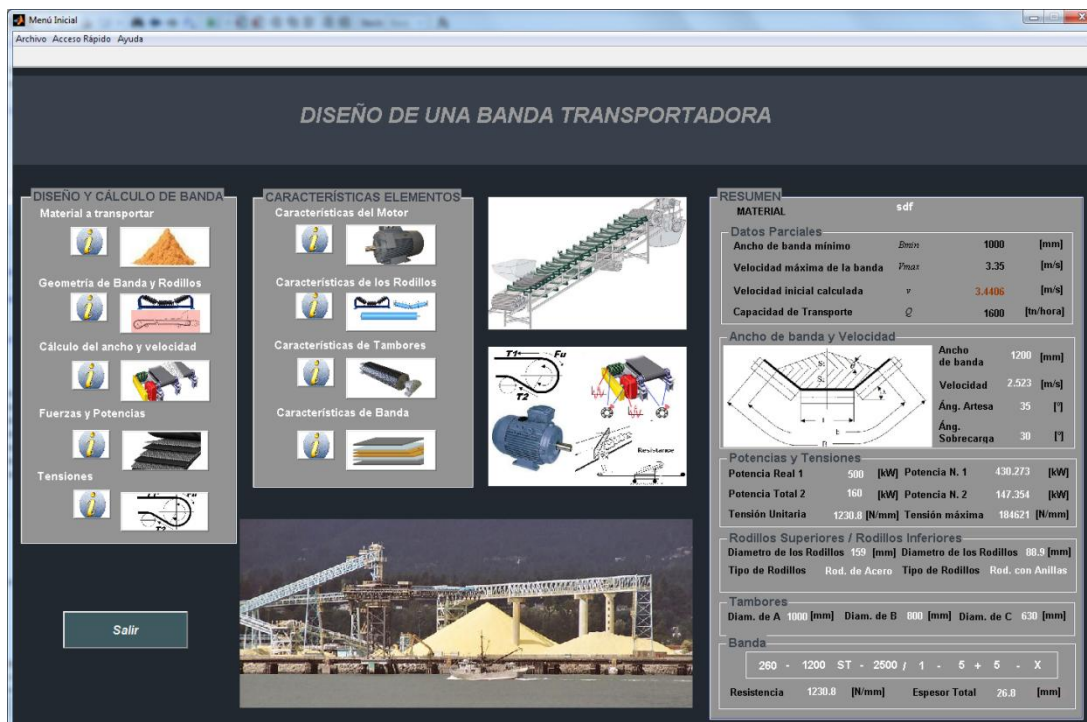


Figura 6.55: Menú de inicio completo.



CAPÍTULO 7

Conclusión y trabajos futuros

7.1 Conclusión

Al inicio del proyecto, se estableció como objetivo principal la creación de un software para el diseño y cálculo de una banda transportadora de acuerdo con las normas DIN 22101, ISO 5048 y UNE 58204. Como objetivo secundario se estableció su uso como ayudar al estudio a los alumnos de Ingeniería Industrial en la asignatura de *Transportes de la Ingeniería*.

Considerando que el programa elaborado cumple con estos objetivos por las razones que a continuación se detallan:

1. Se ha realizado un correcto aprendizaje de los conocimientos necesarios para la creación de interfaces de usuario con *GUIDE*. Manejando bucles, variables globales y diferentes estructuras de datos para almacenar todo tipo de parámetros en la memoria y su posterior aplicación en las funciones necesarias.
2. El software *DITRAN*, desarrollado en este Proyecto Fin de Carrera, proporciona a los usuarios una herramienta sumamente útil para el cálculo, diseño y selección de los parámetros técnicos más importantes de una banda transportadora.
3. La creación y programación del software *DITRAN*, se ha llevado a cabo, mediante el entorno de programación *GUIDE* de *MatLab*. Con el cual se desarrolló una serie de ventanas gráficas. Siendo necesario para su aprendizaje, la consulta de manuales y catálogos.
4. Todos los cálculos, bases de datos consultadas, recomendaciones, sugerencias y demás información técnica presentada por el software han sido tomados en su mayoría del libro de Cintas Transportadoras de Agustín López Roa y de diversos catálogos de bandas transportadoras de fabricantes como *Dunlop* y *Pirelly*.
5. Para el diseño y cálculo de los resultados de las fases de la selección de los componentes de rodillos y tambores, han sido desarrollados a través de fabricantes específicos como *Rulmeca*, *Rotrans* y *Vulcaban*, además de los ya nombrados. Sin embargo esto no obliga al usuario a emplear estos fabricantes en sus diseños, pues el programa permite ingresar parámetros técnicos diferentes a los recomendados siempre y cuando no se exceda de unos valores límite.
6. Puesto que el PC, solamente va a ejecutar las órdenes y cálculos, el usuario debe cerciorarse que se estén ingresando datos coherentes y que los resultados obtenidos sean correctos, es por eso que el usuario debe usar su criterio para evaluar y decidir tanto los datos de entrada como los parámetros calculados para considerar si el diseño final de la banda transportadora es correcto.
7. Dado el desarrollo tecnológico actual en el campo del transporte de materiales, este programa solo debe ser empleado para el cálculo y diseño de transportadores para materiales a granel, dentro de las especificaciones y restricciones que el programa ofrece. Con lo que, para otros casos de transportadores con bandas en espiral, bandas en tubo, bandas con radios de giros de transición, bandas con camas deslizantes, etc, no se consideran en este programa y por lo tanto no se deben emplear para el cálculo de los mismos.

8. El programa *DITRAN*, se ha evaluado con diferentes compañeros y ex-alumnos de Ingeniería Industrial, como medida de estudio del comportamiento que pudieran tener a la hora de interactuar con el programa, logrando unos resultados satisfactorios.
9. Los resultados obtenidos de los diferentes tanteos estudiados y contrastados con otros ejemplos de carácter real, aseguran un correcto funcionamiento del programa, ofreciendo al usuario las características más destacadas que necesita una banda transportadora para ser diseñada adecuadamente. Con lo cual se puede verificar que este programa es una herramienta fiable y útil para el estudio del comportamiento de la banda transportadora de acuerdo con las diferentes variaciones que ésta puede presentar.
10. Como conclusión final, puedo asegurar que se cumplen los objetivos establecidos en la introducción del documento, ya que el software desarrollado es válido para realizar el diseño correcto de una banda transportadora.

7.1 Trabajos futuros.

Teniendo en cuenta los procesos de cálculo, diseño, obtención y estudio de resultados que se han expuesto en el presente documento, se podrán abordar otros proyectos futuros orientados al estudio de las bandas transportadoras, alguno de los cuales se comentan a continuación:

- ✓ Facilitar al usuario la opción de añadir el diseño de bandas transportadoras especiales.
- ✓ Facilitar al usuario el diseño de bandas con radios de curvatura horizontal y vertical.
- ✓ Posibilitar al usuario la introducción de diferentes tipos de bandas, de otros fabricantes.
- ✓ Realizar el estudio del diseño de bandas, de acuerdo con otras normativas existentes, comparando sus diferencias.
- ✓ Realizar un estudio de elementos finitos sobre los esfuerzos a los que se ve sometida la banda.



CAPITULO 8

Referencias bibliográficas

8.1 Referencias

- [1] LÓPEZ ROA, Agustín. *Cintas transportadoras*, Ed: CIE inversiones editoriales dossat-2000, 383 p.
- [2] CONVEYOR BELT TECHNIQUE, *Desing and calculation*. Dunlop.
- [3] PIRELLY, *Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores* Willian-Ed. Mac Graw Hill. Madrid (España) 1992.
- [4] MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA. D. Jesús Gómez de las Heras, *Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto*; 1ª ed. Madrid: Ed. Inst. Geológico Y Minero España, 1995, 604 p.
- [5] RULMEKA, *Manual de cintas transportadoras*
- [6] AENOR. *Bandas transportadoras compuestas de goma con núcleo de tejido textil. Características de construcción*. UNE-EN 18137:1983. Asociación española de normalización y certificación, Diciembre 1985.
- [7] MIRAVETE DE MARCOS, Antonio. LARRODÉ, Emílio. CASTEJÓN, Luis. CUARTERO, Jesús. *Los transportes en la ingeniería industrial: problemas y practica*; 1ª Ed. Reverté S.A. Barcelona, 1998, 252 p.
- [8] M.C. JOSÉ JAIME ESQUEDA ELIZONDO. *Interfaces Gráficas en Matlab*. Universidad Autónoma de Baja California, 2002, 139 p
- [9] GOODYEAR. *Handbook of Conveyor & Elevator Belting*, The Goodyear tire & Rubber company 1975, Akron Ohio. U.S.A.
- [10] FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA MARTOS, Gonzalo. Creación de Interfaces Gráficas de Usuario (GUI) con *MatLab*. Universidad de Salamanca. Septiembre de 2007.
- [11] <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes>
- [12] <http://www.servorecambios.com/motores/abb.shtml>
- [13] <http://pdf.directindustry.es/pdf/esbelt/bandas-transportadoras/11685-76056-20.html#>
- [14] http://www.alenmultimedia.com/@demos/kauman/fichas_tecnicas/es_Calculo_de_la_Potencia_de_Accionamiento.pdf

- [15] http://www.alenmultimedia.com/@demos/kauman/fichas_tecnicas/es_info_tech_aplic_bandas_transportadoras.pdf
- [16] <http://es.wikipedia.org/wiki>
- [17] <http://www.vulcaban.com/bandas.html>
- [18] <http://rotranssa.com/>
- [19] <http://www.monografias.com/trabajos58/disen%C3%B3-cintas-transportadoras/disen%C3%B3-cintas-transportadoras2.shtml>
- [20] http://en.wikipedia.org/wiki/Oliver_Evans
- [21] <http://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>
- [22] http://www.mathworks.es/videos/creating-a-gui-with-guide-68979.html?s_tid=disc_ibl
- [23] http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/11/MATLAB_GUIDE.pdf
- [24] J. GARCÍA DE JALÓN, J.I. RODRÍGUEZ, J. VIDAL; *Aprenda Matlab 7.0 como si estuviera en primero*. Escuela técnica superior de ingenieros industriales, UPM, 2005.
- [25] <http://ricardodarioprime.blogspot.com.es/2009/02/una-de-las-primeras-cintas.html>
- [26] http://www.associationlesseps.org/sp/suez_technique.html
- [27] <http://www.bandasindustriales.com/goma.html>



ANEXOS 1

Catálogos de bandas *Dunlop*

INFORMACIÓN TÉCNICA

AMPLIA GAMA DE PRODUCTOS DUNLOFLEX®

Tipo de banda	Grosor de la carcasa (mm)	Peso de la carcasa (kg/m²)	A (mm)	Diámetros de polea *			Anchura mín. ** (mm)	Anchura de cinta máx. (mm) para un soporte de carga satisfactorio con peso de material en t/m³: **		
				B (mm)	C (mm)			<0.75	0.75-1.5	1.5-2.5
D 200	2.7	3.1	250	200	160		400	800	800	
D 250	3.0	3.6	250	200	160		400	1000	800	650
D 315	3.2	3.7	250	200	160		500	1200	1000	800
D 400	3.7	4.3	315	250	200		500	1400	1200	1000
D 500	4.1	4.7	315	250	200		650	1400	1200	1000
D 630	4.5	5.0	400	315	250		650	1600	1400	1200
D 800	4.8	5.5	500	400	315		650	1600	1400	1200

EXPLICACIÓN:

Para determinar el grosor total de la cinta (sin incluir bandas resistentes al fuego):

Agregue la suma de las cubiertas al grosor de la carcasa.

Para determinar el peso de la banda por metro cuadrado (excluyendo las bandas resistentes al fuego, para las que se aplican otros pesos):

Multiplique la suma de las cubiertas por 1,15 y agregue el resultado al peso de la carcasa.

¡ESTAMOS AQUÍ PARA AYUDARLE!

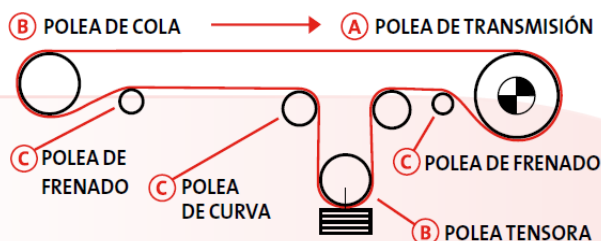
Si tiene alguna duda o pregunta, por favor llame a nuestro

Departamento de Ingeniería de Aplicaciones, al +31 (0) 512 585 555

* Diámetro para cargas de banda de 60% a 100%.

Para cargas inferiores también hay un diámetro más pequeño disponible.

** El soporte de carga de una cinta es un factor relativo a la anchura de la banda, resistencia de la banda y densidad del material a granel. La tabla indica los límites de un soporte de carga correcto, en función de tres poleas tensoras de la misma longitud colocadas a 30°.



UNA AMPLIA GAMA DE CUBIERTAS DE GRAN CALIDAD

Todas las cubiertas Dunlop son anti-estáticas, según el estándar EN 20284

Versiones de cubiertas Dunlop		Calidad DIN	Calidad EN/ISO	Temperatura admitida, en °C*			Polímero base	Características técnicas
				Min. Ambiente	material cont.	material máx.		Zona de aplicación
Resistente a la abrasión	RA	Y	D	-30	80	100	SBR	Gran resistencia a la abrasión en condiciones de servicio normales.
	RS	W	D	-40	80	90	NR/SBR	Resistencia al desgaste adicional para cubrir los requisitos de transporte de materiales muy abrasivos.
	RE	X	H	-40	80	90	NR	Excelente resistencia a cortes, impactos, abrasión y rasurado resultante de grandes trozos de materiales pesados y cortantes y caídas desde grandes alturas.
Resistente al calor	Betahete	T		-20	150	170	SBR	Resistencia al calor en el caso de materiales a temperaturas moderadas.
	Starhete	T		-20	180	220	IIR	Mayor resistencia al calor en el caso de materiales a temperaturas elevadas controladas.
	Deltahete	T		-20	200	400	EPDM	Mayor resistencia al calor en el caso de condiciones de servicio industriales, hasta 400°C durante periodos cortos (coque, escoria de hulla, etc.)
Resistente a aceites y grasas	ROM	G**		-20	80	90	SBR/NBR	Resistente al aceite y grasa en la mayoría de productos con aceites y grasas animales y vegetales.
	ROS	G		-20	80	120	NBR	Resisten al aceite y grasas para productos que contienen aceites minerales.
Resistente al fuego	BVX	K/S***		-20	80	90	SBR	Resistente al fuego para el transporte de materiales inflamables y explosivos, como por ejemplo polvo de carbón, etc. Cumple la norma EN 20340.
	BV ROM	K/S***		-20	80	90	SBR/NBR	Las mismas características que ROM y además resistente al fuego. Cumple la norma EN 20340.
	BV ROS	K/S***		-20	80	90	NBR	Las mismas características que ROS y además resistente al fuego. Cumple la norma EN 20340.

* En el caso de correas de ascensores, se aplican otros valores. Para temperaturas bajas por favor pida información relativa a nuestra gama Coldstar.

** En algunos casos (productos que contienen altas concentraciones de aceites animales y vegetales) debe seleccionarse ROS.

*** K = resistente al fuego con cubiertas.
S = resistente al fuego con o sin cubiertas.

Hay otras versiones de cubiertas para aplicaciones especiales disponibles bajo pedido.

INFORMACIÓN TÉCNICA

AMPLIA GAMA DE PRODUCTOS TRIOFLEX®

Tipo de banda	Grosor de la carcasa (mm)	Peso de la carcasa (kg/m²)	Diámetros de polea *			Anchura mín. ** (mm)	Anchura de cinta máx. (mm) para un soporte de carga satisfactorio con peso de material en t/m²: **			
			A (mm)	B (mm)	C (mm)		<0.75	0.75-1.5	1.5-2.5	2.5-3.2
T 400	4.4	5.3	400	315	250	650	1800	1600	1400	1200
T 500	5.0	5.9	500	400	315	800	2000	1800	1600	1400
T 630	5.5	6.5	630	500	400	800	2000	1800	1600	1400
T 800	6.0	7.2	800	630	500	800	2200	2000	1800	1600
T 1000	6.5	7.8	800	630	500	1000	2200	2200	2000	1800
T 1250	7.2	8.1	1000	800	630	1000	2200	2200	2200	2000

* Diámetro para cargas de banda de 60% a 100%.
Para cargas inferiores también hay un diámetro más pequeño disponible.

** El soporte de carga de una cinta es un factor relativo a la anchura de la banda, resistencia de la banda y densidad del material a granel. La tabla indica los límites de un soporte de carga correcto, en función de tres poleas tensoras de la misma longitud colocadas a 30°.

EXPLICACIÓN:

Para determinar el grosor total de la cinta
(sin incluir bandas resistentes al fuego):

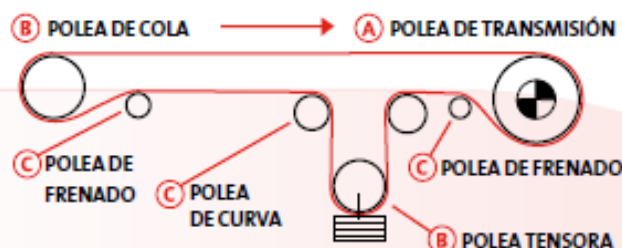
Agregue la suma de las cubiertas al grosor de la carcasa.

Para determinar el peso de la banda por metro cuadrado
(excluyendo las bandas resistentes al fuego, para las que se aplican otros pesos):

Multiplique la suma de las cubiertas por 1,15 y agregue el resultado al peso de la carcasa.

¡ESTAMOS AQUÍ PARA AYUDARLE!

Si tiene alguna duda o pregunta, por favor llame a nuestro
Departamento de Ingeniería de Aplicaciones, al +31 (0) 512 585 555



UNA AMPLIA GAMA DE CUBIERTAS DE GRAN CALIDAD

Todas las cubiertas Dunlop son anti-estáticas, según el estándar EN 20284

Versiones de cubiertas Dunlop	Calidad DIN	Calidad EN/ISO	Temperatura admitida, en °C*			Polímero base	Características técnicas Zona de aplicación
			Mín. Ambiente	material cort.	material max.		
Resistente a la abrasión	RA	Y	-30	80	100	SBR	Gran resistencia a la abrasión en condiciones de servicio normales. Resistencia al desgaste adicional para cubrir los requisitos de transporte de materiales muy abrasivos. Excelente resistencia a cortes, impactos, abrasión y rasurado resultante de grandes trozos de materiales pesados y cortantes y caídas desde grandes alturas.
	RS	W	-40	80	90	NR/SBR	
	RE	X	-40	80	90	NR	
Resistente al calor	Betahete	T	-20	150	170	SBR	Resistencia al calor en el caso de materiales a temperaturas moderadas. Mayor resistencia al calor en el caso de materiales a temperaturas elevadas controladas. Mayor resistencia al calor en el caso de condiciones de servicio industriales, hasta 400°C durante periodos cortos (coque, escoria de hulla, etc.).
	Starhete	T	-20	180	220	IIR	
	Deltahete	T	-20	200	400	EPDM	
Resistente a aceites y grasas	ROM	G**	-20	80	90	SBR/NBR	Resistente al aceite y grasa en la mayoría de productos con aceites y grasas animales y vegetales. Resisten al aceite y grasas para productos que contienen aceites minerales.
	ROS	G	-20	80	120	NBR	
Resistente al fuego	BVX	K/S***	-20	80	90	SBR	Resistente al fuego para el transporte de materiales inflamables y explosivos, como por ejemplo polvo de carbón, etc. Cumple la norma EN 20340. Las mismas características que ROM y además resistente al fuego. Cumple la norma EN 20340. Las mismas características que ROS y además resistente al fuego. Cumple la norma EN 20340.
	BVROM	K/S***	-20	80	90	SBR/NBR	
	BVROS	K/S***	-20	80	90	NBR	

* En el caso de correas de ascensoras, se aplican otros valores. Para temperaturas bajas por favor pida información relativa a nuestra gama Coldstar.

** En algunos casos (productos que contienen altas concentraciones de aceites animales y vegetales) debe seleccionarse ROS.

*** K = resistente al fuego con cubiertas.
S = resistente al fuego con o sin cubiertas.

Hay otras versiones de cubiertas para aplicaciones especiales disponibles bajo pedido.

INFORMACIÓN TÉCNICA AMPLIA GAMA DE PRODUCTOS SUPERFORT®

Tipo de banda	Grosor de la carcasa (mm)	Peso de la carcasa (kg/m²)	A (mm)	Diámetros de polea*		C (mm)	Anchura mín. ** (mm)	Anchura de cinta máx. (mm) para un soporte de carga satisfactorio con peso de material en t/m³: **			
				B (mm)				<0.75	0.75-1.5	1.5-2.5	2.5-3.2
S 250/2	2.1	2.5	200	160		125	300	650	500	400	
S 315/2	2.3	2.6	250	200		160	400	650	500	400	
S 400/2	2.8	3.2	315	250		200	400	1000	800	650	
S 400/3	3.0	3.5	315	250		200	400	1200	1000	800	
S 500/3	3.2	3.6	400	315		250	500	1200	1000	800	
S 500/4	3.9	4.5	400	315		250	500	1400	1200	1000	800
S 630/3	4.0	4.5	400	315		250	500	1400	1200	1000	800
S 630/4	4.2	4.7	500	400		315	650	1600	1400	1200	1000
S 630/5	5.0	5.8	630	500		400	800	2000	1800	1600	1400
S 800/3	4.5	5.1	500	400		315	650	1600	1400	1200	1000
S 800/4	5.2	5.8	630	500		400	800	1800	1600	1400	1200
S 800/5	5.3	6.0	630	500		400	800	2000	1800	1600	1400
S 1000/4	6.2	6.9	630	500		400	800	2200	2000	1800	1600
S 1000/5	6.6	7.4	800	630		500	1000	2200	2200	2000	1800
S 1000/6	6.5	7.4	800	630		500	1000	2200	2200	2000	1800
S 1250/4	6.7	7.6	800	630		500	1000	2200	2200	2200	2200
S 1250/5	7.8	8.7	800	630		500	1000	2200	2200	2200	2200
S 1250/6	8.0	8.9	1000	800		630	1000	2200	2200	2200	2200
S 1600/4	8.4	9.4	1000	800		630	1200	2200	2200	2200	2200
S 1600/5	8.5	9.6	1000	800		630	1200	2200	2200	2200	2200
S 1600/6	9.5	10.5	1000	800		630	1200	2200	2200	2200	2200
S 2000/4	9.7	10.7	1000	800		600	1200	2200	2200	2200	2200
S 2000/5	10.7	11.9	1200	1000		800	1200	2200	2200	2200	2200
S 2500/5	12.2	13.5	1400	1200		1000	1200	2200	2200	2200	2200
S 2500/6	13.0	14.4	1400	1200		1000	1200	2200	2200	2200	2200
S 3150/5	14.5	15.2	1600	1400		1200	1200	2200	2200	2200	2200

EXPLICACIÓN:

Para determinar el grosor total de la cinta

(sin incluir bandas resistentes al fuego):

Agregue la suma de las cubiertas al grosor de la carcasa.

Para determinar el peso de la banda por metro cuadrado (excluyendo las bandas resistentes al fuego, para las que se aplican otros pesos):

Multiplique la suma de las cubiertas por 1,15 y agregue el resultado al peso de la carcasa.

¡ESTAMOS AQUÍ PARA AYUDARLE!

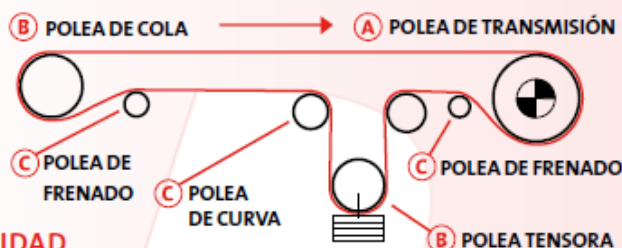
Si tiene alguna duda o pregunta, por favor llame a nuestro

Departamento de Ingeniería de Aplicaciones, al +31 (0) 512 585 555

* Diámetro para cargas de banda de 60% a 100%.

Para cargas inferiores también hay un diámetro más pequeño disponible.

** El soporte de carga de una cinta es un factor relativo a la anchura de la banda, resistencia de la banda y densidad del material a granel. La tabla indica los límites de un soporte de carga correcto, en función de tres poleas tensoras de la misma longitud colocadas a 30°.



UNA AMPLIA GAMA DE CUBIERTAS DE GRAN CALIDAD

Todas las cubiertas Dunlop son anti-estáticas, según el estándar EN 20284

Versiones de cubiertas Dunlop	Calidad DIN	Calidad EN/ISO	Temperatura admitida, en °C*			Polímero base	Características técnicas Zona de aplicación
			Mín. Ambiente	material cont.	material max.		
Resistente a la abrasión	RA	Y	-30	80	100	SBR	Gran resistencia a la abrasión en condiciones de servicio normales.
	RS	W	-40	80	90	NR/SBR	Resistencia al desgaste adicional para cubrir los requisitos de transporte de materiales muy abrasivos.
	RE	X	-40	80	90	NR	Excelente resistencia a cortes, impactos, abrasión y rasurado resultante de grandes trozos de materiales pesados y cortantes y caídas desde grandes alturas.
Resistente al calor	Betahete	T	-20	150	170	SBR	Resistencia al calor en el caso de materiales a temperaturas moderadas.
	Starhete	T	-20	180	220	IIR	Mayor resistencia al calor en el caso de materiales a temperaturas elevadas controladas.
	Deltahete	T	-20	200	400	EPDM	Mayor resistencia al calor en el caso de condiciones de servicio industriales, hasta 400°C durante periodos cortos (coque, escoria de hulla, etc.)
Resistente a aceites y grasas	ROM	G**	-20	80	90	SBR/NBR	Resistente al aceite y grasas en la mayoría de productos con aceites y grasas animales y vegetales.
	ROS	G	-20	80	120	NBR	Resisten al aceite y grasas para productos que contienen aceites minerales.
Resistente al fuego	BVX	K/S***	-20	80	90	SBR	Resistente al fuego para el transporte de materiales inflamables y explosivos, como por ejemplo polvo de carbón, etc. Cumple la norma EN 20340.
	BV ROM	K/S***	-20	80	90	SBR/NBR	Las mismas características que ROM y además resistente al fuego. Cumple la norma EN 20340.
	BV ROS	K/S***	-20	80	90	NBR	Las mismas características que ROS y además resistente al fuego. Cumple la norma EN 20340.

* En el caso de correas de ascensores, se aplican otros valores. Para temperaturas bajas por favor pida información relativa a nuestra gama Coldstar.

** En algunos casos (productos que contienen altas concentraciones de aceites animales y vegetales) debe seleccionarse ROS.

*** K = resistente al fuego con cubiertas.
S = resistente al fuego con o sin cubiertas.

Hay otras versiones de cubiertas para aplicaciones especiales disponibles bajo pedido.

INFORMACIÓN TÉCNICA

AMPLIA GAMA DE PRODUCTOS FERROFLEX®

Tipo de banda	Grosor de la carcasa (mm)	Peso de la carcasa (kg/m²)	Diámetros de polea *			Anchura mín. ** (mm)	Anchura de cinta máx. (mm) para un soporte de carga satisfactorio con peso de material en t/m²: **			
			A (mm)	B (mm)	C (mm)		<0.75	0.75-1.5	1.5-2.5	2.5-3.2
F 500 IW	3.2	5.7	500	400	315	500	1600	1400	1200	1000
SW	4.7	7.3	500	400	315	800	2200	2000	1800	1600
F 630 IW	3.2	5.9	500	400	315	500	1600	1400	1200	1000
SW	4.7	8.1	500	400	315	800	2200	2000	1800	1600
F 800 IW	4.5	8.6	630	500	400	650	2200	2000	1800	1600
SW	5.4	9.5	630	500	400	800	2200	2200	2000	1800
F 1000 IW	4.5	9.3	630	500	400	650	2200	2000	1800	1600
SW	5.4	10.4	630	500	400	800	2200	2200	2000	1800
F 1250 IW	6.0	12.2	800	630	400	800	2200	2200	2200	2200
SW	7.1	13.2	800	630	400	1000	2200	2200	2200	2200
F 1600 IW	6.0	13.5	800	630	400	800	2200	2200	2200	2200
SW	7.1	14.6	800	630	400	1000	2200	2200	2200	2200
F 2000 SW	7.1	16.0	800	630	400	1000	2200	2200	2200	2200

EXPLICACIÓN:

Para determinar el grosor total de la cinta (sin incluir bandas resistentes al fuego):

Agregue la suma de las cubiertas al grosor de la carcasa.

Para determinar el peso de la banda por metro cuadrado (excluyendo las bandas resistentes al fuego, para las que se aplican otros pesos):

Multiplique la suma de las cubiertas por 1,15 y agregue el resultado al peso de la carcasa.

¡ESTAMOS AQUÍ PARA AYUDARLE!

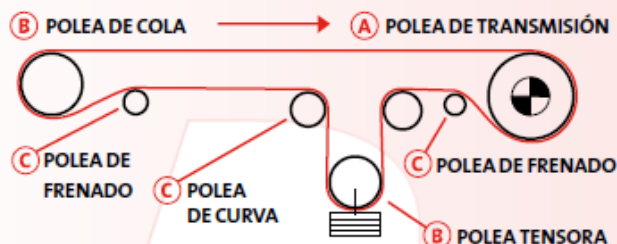
Si tiene alguna duda o pregunta, por favor llame a nuestro

Departamento de Ingeniería de Aplicaciones, al +31 (o) 512 585 555

* Diámetro para cargas de banda de 60% a 100%.

Para cargas inferiores también hay un diámetro más pequeño disponible.

** El soporte de carga de una cinta es un factor relativo a la anchura de la banda, resistencia de la banda y densidad del material a granel. La tabla indica los límites de un soporte de carga correcto, en función de tres poleas tensoras de la misma longitud colocadas a 30°.



UNA AMPLIA GAMA DE CUBIERTAS DE GRAN CALIDAD

Todas las cubiertas Dunlop son anti-estáticas, según el estándar EN 20284

Versiones de cubiertas Dunlop		Calidad DIN	Calidad EN/ISO	Temperatura admitida, en °C			Polímero base	Características técnicas Zona de aplicación
				Min. ambiente	Material cont.	Material max.		
Resistente a la abrasión	RA	Y	D	-30	80	100	SBR	Gran resistencia a la abrasión en condiciones de servicio normales.
	RS	W	D	-40	80	90	NR	Resistencia al desgaste adicional para cubrir los requisitos de transporte de materiales muy abrasivos.
	RE	X	H	-40	80	90	IIR	Excelente resistencia a cortes, impactos, abrasión y rasurado resultante de grandes trozos de materiales pesados y cortantes y caídas desde grandes alturas.
Resistente al calor	Betahete	T		-20	150	170	EPDM	Resistencia al calor en el caso de materiales a temperaturas moderadas.
	Deltahete	T		-20	200	400		Mayor resistencia al calor en el caso de materiales a temperaturas elevadas controladas. Mayor resistencia al calor en el caso de condiciones de servicio industriales, hasta 400°C durante periodos cortos (coque, escoria de hulla, etc.)
Resistente a aceites y grasas	ROS	G		-20	80	120	NBR	Resisten al aceite y grasas para productos que contienen aceites minerales.
Resistente al fuego	BVX	S**		-20	80	90	SBR	Resistente al fuego para el transporte de materiales inflamables y explosivos, como por ejemplo polvo de carbón, etc. Cumple la norma EN 20340. Adecuado para zonas peligrosas según la norma ATEX 95.

* En el caso de correas de ascensores, se aplican otros valores. Para temperaturas bajas por favor pida información relativa a nuestra gama Coldstar.

** S = resistente al fuego con o sin cubiertas.

INFORMACIÓN TÉCNICA

LA GAMA DUNLOP DE CABLE DE ACERO

Todas las especificaciones cumplen las normas EN ISO 15236 2ª parte y DIN 22131

Tipo	Espesor de cobertura mínimo mm	Diámetro de cable mm	Paso de cable mm	Peso de la carcasa (kg/m²)	Diámetro mínimo de polea (mm)			Ancho de banda mínimo* mm
					motritz	de cola y tensora	de frenado y de curva	
ST500	4	2.7	14.0	4.9	500	400	315	400
ST630	4	2.7	11.0	5.4	500	400	315	400
ST800	4	3.5	12.0	7.5	630	500	400	400
ST1000	4	3.6	12.0	7.7	630	500	400	400
ST1250	4	4.4	14.0	9.8	630	500	400	500
ST1400	4	4.5	14.0	10.0	630	500	400	500
ST1600	4	5.2	15.0	11.8	800	630	500	500
ST1800	4	5.2	13.5	12.4	800	630	500	500
ST2000	4	5.2	12.0	13.3	800	630	500	650
ST2250	4	5.2	11.0	13.8	800	630	500	650
ST2500	5	6.7	15.0	17.1	1000	800	630	650
ST2800	5	6.7	13.5	18.1	1000	800	630	800
ST3150	6	7.6	15.0	20.9	1250	1000	800	800
ST3500	6	8.2	15.0	23.3	1250	1000	800	800
ST4000	7	8.6	15.0	25.3	1250	1000	800	800
ST4500	7	9.4	16.0	28.3	1400	1250	1000	1000
ST5000	8	10.2	17.0	30.2	1600	1400	1250	1000

Otros diseños de carcasa están disponibles bajo petición.

EXPLICACIÓN

Para calcular el espesor de la banda, por favor añada el espesor total de las coberturas al diámetro del cable. Para determinar el peso de la banda por metro cuadrado (excluyendo las banda anti llama que aplica otros pesos): multiplique la suma de las coberturas por 1.15 y añada el resultado al peso de la carcasa.

* El soporte de la carga de una banda depende del ancho de la banda y su resistencia o carga de rotura y la densidad del material a granel. La tabla indica el ancho de banda mínimo requerido para un soporte de carga correcto en función de una artesa de 3 rodillos de la misma longitud colocados a 30°.

UNA AMPLIA GAMA DE CALIDADES DE COBERTURA

Todas las coberturas Dunlop son antiestáticas conforme a EN ISO 284, REACH (Registro, Evaluación y Autorización de sustancias Químicas) norma EC 1907/2006 resistente al ozono según EN/ISO 1431

Versiones de cubiertas Dunlop		Calidad DIN	Calidad EN/ISO	Temperatura admitida en °C*			Polímero base	Características técnicas Zona de aplicación
				Temperatura mínima	Temperatura continua del material	Temperatura pico del material		
Resistente a la abrasión	RA	Y	D	-30	80	100	SBR	Gran resistencia a la abrasión en condiciones de servicio normales. Excelente resistencia a cortes, impactos, abrasión y rasurado resultante de grandes trozos de materiales pesados y cortantes y caídas desde grandes alturas. Tiene todas las cualidades de cubiertas RE plus resistencia al desgaste adicional para cubrir los requisitos de transporte de materiales muy abrasivos.
	RE	X	H	-40	80	90	NR	
	RS	W	D	-30	80	90	NR/SBR	
Resistente al calor	Betahete	T		-20	160	180	SBR	Resistencia al calor en el caso de materiales a temperaturas moderadas. Mayor resistencia al calor en el caso de condiciones de servicio industriales, hasta 400°C durante periodos cortos (coque, escoria de hulla, etc.).
	Deltahete	T		-20	200	400	EPDM	
Resistente a aceites y grasas	ROS	G		-20	80	120	NBR	Resistente al aceite y grasas para productos que contienen aceites minerales. Y altas concentraciones de aceites animales y vegetales.

* Para temperaturas ambiente bajas por favor pregunte información a cerca de nuestra gama Coldstar.

Otras calidades de cobertura para aplicaciones especiales están disponibles bajo petición.